

VISIT...

LANZAROTE  
*Caliente*.com

**Техника в ее историческом развитии (70-е годы XIX — начало XX в.).**  
М.: Наука, 1982. Коллектив авторов.

Предлагаемый читателю труд является продолжением ранее изданной монографии «Техника в ее историческом развитии. От появления ручных орудий труда до становления техники машинно-фабричного производства».

В книге, охватывающей период с 70-х годов XIX в. до Великой Октябрьской социалистической революции, представлена эволюция техники в условиях империализма, показано влияние ее на различные стороны деятельности людей. Основываясь на учении В. И. Ленина об империализме, авторы рассмотрели особенности развития техники в этот период.

Книга рассчитана на широкий круг читателей, интересующихся историей техники, науки, культуры; она будет полезна преподавателям и студентам высших и средних учебных заведений.

Ил. 149, табл. 1, библиогр. 683 назв.

Ответственные редакторы:

доктор технических наук

С. В. ШУХАРДИН,

кандидаты технических наук

Н. К. ЛАМАН, А. С. ФЕДОРОВ

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Техническая и промышленная революции конца XVIII — начала XIX в. сформировали машинно-фабричное капиталистическое производство, ставшее господствующим в промышленно развитых странах. К 70-м годам XIX в. производительные силы на базе капиталистического способа производства достигли уровня, которого не знали все предшествующие формации. Но прогрессивное развитие буржуазного общества не могло длиться непрерывно, так как капиталистический строй полон глубочайших социальных противоречий. В 1848 г. К. Маркс и Ф. Энгельс писали: «Вот уже несколько десятилетий история промышленности и торговли представляет собой лишь историю возмущения современных производительных сил против современных производственных отношений, против тех отношений собственности, которые являются условием существования буржуазии и ее господства»<sup>1</sup>. Острейшие антагонистические противоречия, свойственные капитализму, сказались на характере и особенностях развития техники. В конце XIX — начале XX в., когда свободная конкуренция стала заменяться господством монополий, капитализм вступил в новую стадию, характеризующуюся упадком и застоєм.

Предлагаемая читателям книга посвящена истории техники именно этого периода капитализма (с 70-х годов XIX в. до Великой Октябрьской социалистической революции). Она является продолжением ранее изданного труда, в котором был показан процесс развития техники с древнейших времен до 70-х годов XIX в.<sup>2</sup>

Основываясь на теоретических и методологических положениях и выводах основоположников марксизма-ленинизма о роли техники в истории общества, авторы попытались показать по возможности полную и целостную картину развития техники в условиях становления империализма, раскрыть закономерности и тенденции технического прогресса, а также проследить его социальные последствия.

Марксистская концепция техники, развитая В. И. Лениным в его произведениях, посвященных периоду монополистического капитализма, позволяет научно объяснить технические и экономические сдвиги конца XIX — начала XX в. В ленинском труде «Империализм, как высшая стадия капитализма» разработана теория империализма, сформулированы пять основных признаков империализма, что дает возможность выявить черты и особенности развития техники рассматриваемого периода. Поэтому во введении на основе ленинских теоретических положений рассмотре-

<sup>1</sup> Маркс К., Энгельс Ф. Соч., т. 4, с. 429.

<sup>2</sup> Техника в ее историческом развитии. От появления ручных орудий труда до становления техники машинно-фабричного производства. М.: Наука, 1979.

ны особенности технического прогресса при империализме, показаны основные направления технического развития и экономические причины, порождающие его искусственное торможение при империализме, рассмотрены условия, воздействующие на процессы изобретения новой техники и обобщения изобретательской деятельности, вскрыта сущность систем тейлоризма и фордизма, направленных на порабощение человека техникой, обращено внимание на одностороннее и неравномерное развитие техники в этот период.

Среди основных направлений технического прогресса в книге освещены: развитие системы машин как основы машинно-фабричного капиталистического производства; качественные сдвиги в энергетике, которые в результате кризиса паровой техники привели к бурному развитию электротехники; революционные изменения в металлургии, химической технологии, технике строительного дела, средствах связи и массовой информации; возникновение новых отраслей техники и видов транспорта. Кроме того, отражен технический прогресс в военном деле, достигший в период империализма гигантских размеров под влиянием милитаризации, связанной с подготовкой передела мира между крупнейшими империалистическими державами.

Особенностью развития техники этого периода является то, что капиталистическое машинно-фабричное производство расширило использование достижений естественных наук. Это ускорило процесс превращения науки в непосредственную производительную силу. Поэтому в книге вскрыты новые связи науки с техникой и производством, проанализирована «новейшая революция в естествознании», которая началась на рубеже XIX—XX вв.

В заключительной главе показана роль техники в процессе неравномерности развития стран при империализме и раскрыто ленинское положение о том, что в недрах империализма созревают необходимые материальные условия для перехода к социализму. Первая мировая война ускорила перерастание монополистического капитализма в государственное-монополистический капитализм.

Великая Октябрьская социалистическая революция, совершившаяся в России в 1917 г., положила начало новой эре в истории человечества. С этого времени техника развивалась в условиях строительства социализма в нашей стране и в условиях общего кризиса капитализма в других странах.

Книга написана на основе большого числа источников. Среди них особое место занимают труды основоположников марксизма-ленинизма, а также фундаментальные историко-технические исследования советских и иностранных ученых, посвященные истории техники ведущих отраслей материального производства, технологических процессов и разнообразных технических средств. Широко использованы работы по истории техники и специальным научно-техническим проблемам, опубликованные в конце XIX — начале XX в. и позволяющие воссоздать облик картину научно-технического прогресса в рассматриваемый период.



Книгу написал коллектив авторов: предисловие и введение — докт. техн. наук. С. В. Шухардин; гл. I — канд. техн. наук А. А. Пархоменко; гл. II и III — канд. техн. наук Л. Г. Давыдова; гл. IV: п. 1 — канд. техн. наук А. П. Ратькина, п. 2, 3 — Н. Л. Чичерова; гл. V — канд. техн. наук А. С. Федоров; гл. VI — канд. техн. наук Н. К. Ламан; гл. VII — канд. экон. наук Ю. К. Милонов; гл. VIII: п. 1—4 — докт. техн. наук

С. В. Шухардин и канд. техн. наук Н. К. Ламан; п. 5 — канд. экон. наук Ю. К. Милонов; п. 6 — канд. техн. наук Н. К. Ламан; гл. IX: п. 1—5 — канд. техн. наук И. Н. Бубнов; п. 6 — канд. техн. наук Ю. Б. Татаринов; гл. X: п. 1 — канд. техн. наук А. В. Яроцкий; п. 2 — докт. техн. наук В. Н. Рогинский и канд. техн. наук А. В. Яроцкий; п. 3 — канд. техн. наук В. М. Родионов; гл. XI: п. 1 — канд. техн. наук В. Л. Гвоздецкий, п. 2, 3 — канд. техн. наук В. А. Гуриков; гл. XII: п. 1, 3, 4 — канд. техн. наук В. А. Гуриков, п. 2, 6 — канд. техн. наук З. К. Соколовская, п. 5 — канд. физ.-мат. наук Л. Е. Майстров; гл. XIII — канд. техн. наук Ю. Б. Татаринов; гл. XIV — канд. техн. наук И. Н. Бубнов; гл. XV — академик Б. М. Кедров; гл. XVI — докт. техн. наук А. А. Кузин.

В подготовке книги к изданию принимали участие Н. Л. Чичерова и канд. техн. наук В. А. Гуриков.

Научно-вспомогательную работу выполнили: Т. Д. Разумова, В. Ф. Блянова, С. С. Илизаров, В. Л. Гвоздецкий.

## ВВЕДЕНИЕ

В. И. Ленин в статье «Система Тейлора — порабощение человека машиной», опубликованной в 1914 г., писал, что «капитализм ни на минуту не может стоять на месте. Он должен идти вперед и вперед. Конкуренция, особенно обостряющаяся в эпохи кризиса, подобные нашей, заставляет изобретать все новые средства для удешевления производства. А господство капитала превращает все такие средства в орудия дальнейшего угнетения рабочего»<sup>1</sup>. Чтобы понять процессы и явления, протекающие в обществе, необходимо подходить к ним с конкретно-исторической оценкой. Поэтому В. И. Ленин уделял большое внимание исследованию изменений форм капитализма новейшего времени, вступившего в высшую и последнюю стадию — империализм. Во многих своих работах он отмечал те изменения, которые наблюдались в развитии капитализма в период после исследований К. Маркса, обобщенных им в «Капитале».

Гениальный труд В. И. Ленина «Империализм, как высшая стадия капитализма», а также другие его работы по империализму являются блестящим образцом применения метода диалектического материализма к анализу сложнейших общественных явлений, протекавших во всемирном капиталистическом хозяйстве в начале XX в. В. И. Ленин, опираясь на открытия К. Марксом и Ф. Энгельсом законы возникновения, развития и упадка капитализма, дал конкретно-историческую оценку стадии империализма, раскрыл значение прогресса техники в развитии капиталистического общества этого периода.

Империализм возник в результате того, что капитализм вступил в свою высшую и последнюю стадию развития. Время наступления империализма нельзя, конечно, отнести к какому-нибудь строго определенному году или десятилетию, однако «для Европы можно установить довольно точно время окончательной смены старого капитализма новым: это именно — начало XX века»<sup>2</sup>.

В. И. Ленин дал глубокий научный анализ экономической и политической сущности империализма как высшей и последней стадии в развитии капитализма, являющейся кануном революции пролетариата. Он вскрыл характерные признаки империализма: 1) концентрацию производства и капитала, приведшую к созданию монополий; 2) слияние банковского и капитала с промышленным, в результате чего произошло создание «финансового капитала», финансовой олигархии; 3) вывоз капитала, который приобрел особо важное значение; 4) образование международных монополистических союзов капиталистов, разделивших мир на сферы влияния; 5) территориальный раздел земли между крупнейшими капиталистическими державами<sup>3</sup>.

В. И. Ленин, разрабатывая теорию империализма, исследовал многие актуальные вопросы, связанные с особенностью изучаемого им периода. Кроме основного труда «Империализм, как высшая стадия капитализма»,

он написал много работ, содержащих важнейшие теоретические и методологические положения, которые позволяют понять характерные черты и закономерности развития техники с 70-х годов XIX в. до начала XX в.

К началу XX в. главные отрасли промышленности, транспорт, банки крупнейших капиталистических стран оказались в основном в руках монополий, которые получили неограниченные возможности для влияния на развитие техники всего общественного производства. Монополии, с одной стороны, стимулировали развитие техники в таких размерах, которых не знало ни одно из предыдущих поколений, с другой — имели экономические возможности тормозить технический прогресс. Эти две тенденции в развитии общества вызвали обострение всех противоречий капитализма, привели к усилению эксплуатации трудящихся.

Возможности ускоренного развития техники заключаются в чрезвычайно высокой концентрации производства на монополистических предприятиях. Как говорил В. И. Ленин, «техническая концентрация прогрессивна в технике; финансовая может укреплять и укрепляет всецело монопольного капитала при отсталой технике...»<sup>4</sup>. Сосредоточивая в своих руках научные кадры, исследовательские лаборатории и институты, обладая большими материальными средствами, монополии получают широкие возможности для использования в производстве достижений науки и техники.

Для империализма характерна конкуренция монополий. Погоня за монополиями прибылями побуждает вводить технические усовершенствования, которые ведут к снижению издержек производства и служат серьезным орудием в конкурентной борьбе. Поэтому капиталисты вынуждены внедрять в производство технические усовершенствования, новейшие изобретения и научные открытия, т. е. способствовать развитию производительных сил. Однако достижения науки и техники они используют исключительно в своих интересах, добиваясь сверхвысоких прибылей.

Тенденция ускоренного развития проявляется прежде всего в образовании и становлении новых отраслей техники, или, по словам В. И. Ленина, «модных» отраслей промышленности. Они еще не играли в то время большой роли в жизни общества, однако их появление свидетельствовало о высоком уровне всей техники в совокупности. Двигатели внутреннего сгорания, самолет, телефон, радио, кинематограф и другие достижения конца XIX — начала XX в. — элементы будущего уклада техники.

Монополии несут в себе тенденцию к искусственному торможению развития техники, к застою технического прогресса. В. И. Ленин отмечает, что всякая монополия неизбежно порождает стремление к застою и загниванию. «Поскольку устанавливаются, — пишет он, — хотя бы на время, монопольные цены, постольку исчезают до известной степени побудительные причины к техническому, а следовательно, и ко всякому другому прогрессу, движению вперед; постольку является далее экономическая возможность искусственно задерживать технический прогресс»<sup>5</sup>. В. И. Ленин приводит пример с изобретением американцем Оуэном бутылочной машины, использование которой должно было коренным образом усовершенствовать технологию изготовления бутылки. Однако немецкий картель бутылочных фабрикантов, увидев в этом изобретении

<sup>1</sup> Ленин В. И. Полн. собр. соч., т. 24, с. 369.

<sup>2</sup> Там же, т. 27, с. 315.

<sup>3</sup> Там же, с. 386—387.

<sup>4</sup> Там же, т. 28, с. 171.

<sup>5</sup> Там же, т. 27, с. 397.

большую опасность в снижении монопольных цен, поспешил приобрести патенты и задержал их использование.

Вместе с тем монополии не могут бесконечно тормозить технический прогресс, так как действие конкуренции, необходимость снижения издержек производства и повышения прибыли требуют применения технических усовершенствований. Кроме того, монополии других стран могут использовать идеи, заложенные в купленном патенте (так называемые обходные патенты). В случае с изобретением Оуэнса так и было. Бутылочные машины все же получили распространение. Больше того, в США был образован концерн «Либи-Оуэнс-Форд гласс К<sup>о</sup>». Этот концерн вместе с другими концернами «Питсбург плейт гласс К<sup>о</sup>» вскоре захватил полностью все производство стекла в Америке и стал контролировать аналогичные производства и во многих странах Европы. Эти два концерна имели в своем распоряжении 95% всех производств полноразового стекла.

Чтобы получить возможность учитывать все новейшие изобретения и определенным образом влиять на изобретательскую мысль, во многих монопольных объединениях образуют бюро по патентам, на которые возлагается обязанность выявлять, оценивать и скупать те патенты на изобретения, которые могут быть опасными для монополий. В это же время возникают так называемые патенты-пугала, призванные дезориентировать конкурентов. Это способствовало расширению тенденции к техническому застою, которая все больше и больше стала проявляться в период империализма. В. И. Ленин указывал, что «тенденция к застою и загниванию, свойственная монополии, продолжает в свою очередь действовать, в отдельных отраслях промышленности, в отдельных странах, на известные промежутки времени она берет верх»<sup>6</sup>.

Одной из характерных особенностей технического прогресса при империализме является обобществление изобретательской деятельности. Поскольку концентрация ведет к монополии, постольку получается, как говорил В. И. Ленин, «гигантский прогресс обобществления производства. В частности обобществляется и процесс технических изобретений и усовершенствований»<sup>7</sup>. Это проявляется прежде всего в создании лабораторий и институтов, которые призваны разрабатывать технические изобретения, обеспечивать внедрение новой техники в монополизированные производства. В. И. Ленин приводит пример с табачным трестом, который создал в 1906 г. два специальных общества для покупки всех патентов, имеющих какое-либо отношение к переработке табака, и для производства опытов над всеми изобретениями, связанными с изготовлением папирос, сигарет, нюхательного табака и др. Эти общества занимались также усовершенствованием изобретений, для чего имелись так называемые «инженеры для развития техники».

Такие специальные бюро, лаборатории, институты начинают создаваться почти во всех трестах, картелях и концернах. В. И. Ленин говорит о стальном тресте, где инженерам и рабочим, занятым изобретательской деятельностью, выдавали большие суммы в виде премий за изобретения и усовершенствования. Он указывал, что так же было организовано дело технических улучшений в германской крупной промышленности, в частности в химической, которая развивалась особенно быстрыми темпами.

Родоначальником настоящей «изобретательской индустрии» по праву считается американский изобретатель Т. А. Эдисон, создавший целую систему, которая привела к поразительным для своего времени результатам. Им, начиная с 1876 г., были построены лаборатории в Менло-Парке (примерно в 40 км от Нью-Йорка), где работали сотрудники и коллеги Эдисона, выполнявшие замыслы своего патрона. Ежегодно в его лаборатории делали не менее 40 крупных изобретений. В 1887 г. лаборатории Эдисона были переведены в г. Вест-Орленд (штат Нью-Джерси), где они были превращены в крупный научно-исследовательский центр.

Техническая концентрация производства, образование научно-исследовательских институтов, задачей которых стала разработка новой техники и новейшей технологии, выдвинули проблему научной организации труда на предприятиях. Капиталистическая система организации труда возникла в начале XX в. Она была создана благодаря работам американского изобретателя Ф. Тейлора. По его словам, эта система ставила целью получение «максимальной прибыли для предпринимателей». В 1903 г. вышла книга Ф. Тейлора «Управление производством», в которой он предложил методы и приемы, направленные на интенсификацию труда путем уплотнения рабочего дня, более рационального использования средств производства и орудий труда. В 1911 г. он издал вторую книгу, посвященную научной организации производства.

Научная организация труда при капитализме получила название тейлоризма. В. И. Ленин назвал систему Тейлора «научной» системой выжимания пота, или системой порабощения человека машиной. В. И. Ленин внимательно изучал новейшую литературу, посвященную капиталистической организации труда. Он подробно проанализировал книги Ф. Тейлора, изучил ряд других работ по этой системе, в том числе книгу инженера Р. Зейберта «Из практики системы Тейлора», статью Ф. Джиббета «Изучение движения с точки зрения прироста национального богатства» и др.

В. И. Ленин написал две статьи: «Научная» система выжимания пота» (1913 г.) и «Система Тейлора — порабощение человека машиной» (1914 г.), в которых дает оценку системе, предложенной и широко примененной инженером Ф. Тейлором. Он вскрывает сущность этой системы, которая заключается в том, чтобы из рабочего при капитализме выжать больше труда в течение рабочего дня, заставить его вчетверо интенсивнее работать. В. И. Ленин указывал, что система Тейлора является последним словом капитализма и «соединяет в себе уточненное зверство буржуазной эксплуатации и ряд богатейших научных завоеваний в деле анализа механических движений при труде, изгнания лишних и неловких движений, выработки правильнейших приемов работы, введения наилучших систем учета и контроля и т. д.»<sup>8</sup>.

Система Тейлора получила широкое распространение во многих капиталистических странах и использовалась как сильнейшее средство эксплуатации трудящихся. Она нашла свое дальнейшее развитие на предприятиях крупнейшей американской монополии «Ford Motors». Основатель этих автомобильных предприятий Г. Форд, стремясь получить наибольшую прибавочную стоимость, вводил на своих заводах капиталистическую рационализацию, направленную на максимальное повышение интенсивности

<sup>6</sup> Там же, с. 397.

<sup>7</sup> Там же, с. 320.

<sup>8</sup> Там же, т. 36, с. 189—190.

и производительности труда рабочих. В этих целях была предложена новая техническая система, основанная на использовании конвейеров, стандартизации деталей и узлов машин, типизации производственных процессов. Главным принципом такой системы стали наибольшая эффективность использования времени машин и сокращение времени на выполнение каждой операции рабочим.

Фордизм, так же как и тейлоризм, с одной стороны, предусматривал научные и технические достижения, способствовавшие повышению производительности труда, но, с другой стороны, содержал демагогические утверждения о якобы общих интересах предпринимателей и рабочих. Эта система приводит к притуплению физических и умственных способностей рабочих, к возможности широкого использования неквалифицированных рабочих, женского труда. В результате применения систем Форда и Тейлора возрастает безработица и повышается эксплуатация трудящихся.

Характерные особенности техники при империализме В. И. Ленин блестяще раскрыл в статье «Одна из великих побед техники», которая была опубликована в 1913 г. Известно, что еще в 1888 г. Д. И. Менделеев в работе «Будущая сила, покоящаяся на берегах Дона» высказал идею о возможности подземной газификации углей, т. е. эксплуатации месторождений угля путем превращения его под землей, на месте залегания, в газ, который затем по буровым скважинам поднимают на поверхность и используют для самых разнообразных целей. В 1912 г. аналогичную идею развил английский химик В. Рамзай, начавший в 1913 г. переговоры с рядом фирм о практическом осуществлении подземной газификации углей (опыты не были начаты из-за империалистической войны). В. И. Ленин, ознакомившись со статьей В. Рамзая, писал: «Одна из великих задач современной техники близится, таким образом, к разрешению. Переворот, который вызовет ее решение, громаден»<sup>9</sup>.

В. И. Ленин видел в этом изобретении не простое улучшение методов эксплуатации угольных месторождений, а принципиальное решение сложнейшей проблемы перевода всего народного хозяйства на широкое использование газа, который позволит вдвое увеличить «долю энергии, заключенной в каменном угле», и сократить стоимость электроэнергии «до одной пятой, а может быть даже до одной девятой». Это привело бы к колоссальной экономии труда, к разработке малочисленных и труднодоступных месторождений угля и т. д. Однако последствия этого технического достижения, как указывал В. И. Ленин, будут совершенно разными при капитализме и социализме.

В. И. Ленин, давая замечательный социальный прогноз, писал: «При капитализме „освобождение“ труда миллионов горнорабочих, занятых добычей угля, породит неизбежно массовую безработицу, громадный рост нищеты, ухудшение положения рабочих. А прибыль от великого изобретения положит себе в карман Морганы, Рокфеллеры, Рябупинские, Морозовы — с их святой адвокатов, директоров, профессоров и прочих лакеев капитала».

При социализме применение способа Рамзая, «освобождающий» труд миллионов горнорабочих и т. д., позволит сразу сократить для всех рабочий день с 8 часов, к примеру, до 7, а то и меньше. «Электрификация» всех

фабрик и железных дорог сделает условия труда более гигиеничными, избавит миллионы рабочих от дыма, пыли и грязи, ускорит превращение грязных отвратительных мастерских в чистые, светлые, достойные человека лаборатории. Электрическое освещение и электрическое отопление каждого дома избавит миллионы «домашних рабынь» от необходимости убивать три четверти жизни в смрадной кухне»<sup>10</sup>.

И далее В. И. Ленин делает поразительно глубокий теоретический вывод: «Техника капитализма с каждым днем все более и более *перерастает* те общественные условия, которые осуждают трудящихся на наемное рабство»<sup>11</sup>. Этот вывод он сделал в результате анализа не только изобретения подземной газификации угля, но и бесчисленных других достижений технического прогресса начала XX в. В качестве примера Ленин приводит систему Тейлора, которая «без ведома и против воли ее авторов — подготавливает то время, когда пролетариат возьмет в свои руки все общественное производство»<sup>12</sup>.

Существенной особенностью развития техники при империализме является то, что неизмеримо возрастает роль военной техники, а также ее влияние на все производство в целом. К концу XIX в. был закончен раздел мира между монополистическими союзами капиталистов. Встал вопрос о переделе мира. Началась неслыханная гонка вооружений, а следовательно, бурное развитие всех отраслей военной техники. Появились наиболее крупные изобретения, направленные на усовершенствование средств массового уничтожения людей и материальных ценностей, созданных человечеством на протяжении веков. При таком одностороннем развитии техники смерти и разрушения извращается сама цель технического прогресса, состоящая во всемерном облегчении человеческого труда, в стремлении заставить природу, ее силы служить человеку.

В. И. Ленин в статье «Вооружение и капитализм», опубликованной в газете «Правда» 21 мая 1913 г., писал: «Вооружения считаются национальным делом, патриотическим делом; предполагается, что все строго оберегает тайну. А судостроительные и пушечные, динамитные и ружейные фабрики и заводы представляют из себя *международные предприятия*, в которых капиталисты разных стран дружно надуют и обдирают, как лику, «публику» разных стран, строя дуно или пушки одинаково для Англии против Италии, для Италии против Англии».

Хитрая капиталистическая механика! Цивилизация, порядок, культура, мир — и грабеж сотен миллионов рублей дельцами и аферистами капитала судостроительного, динамитного и пр.»<sup>13</sup>.

Это подтверждается фактами, связанными с деятельностью различных монополистических объединений, орудовавших как в странах Антанты, так и в странах Германского блока. Достаточно, например, указать на образование в России перед самой первой мировой войной «Общества русских судостроительных заводов», в которое входили некоторые немецкие фирмы. Это была монополия, определявшая цены на заказы и гнавшаяся за сверхвысокими прибылями. Этот монополистический синдикат ставил условием получение 100% прибыли.

<sup>10</sup> Там же, с. 94—95.

<sup>11</sup> Там же, с. 95.

<sup>12</sup> Там же, т. 24, с. 371.

<sup>13</sup> Там же, т. 23, с. 175—176.

<sup>9</sup> Там же, т. 23, с. 93.

Техника при капитализме, так же как и сам способ производства, развивается вообще неравномерно: в отдельных странах, в отдельных отраслях промышленности она может и превышать средний уровень развития и, наоборот, далеко отставать от него. Это было свойственно и предшествующей, домонополистической стадии капитализма, однако особенно сильно неравномерность развития техники стала проявляться именно в условиях монополистического капитализма. Монополии обусловили противоречивый характер технического прогресса, его направленный «лихорадочный» темп роста, его односторонность, «однобокость». В этот период целые народы искусственно лишаются всякой возможности развивать у себя в стране технику, свое промышленное производство. На такую участь империализм обрекает все колониальные и зависимые страны, в которых проживают миллионы людей. Таким образом, благами технического прогресса при империализме фактически пользуются лишь ограниченное количество людей из так называемых «цивилизованных» наций.

Сама природа капитализма, которому присущи antagonистические противоречия, порождает циклический характер воспроизводства. Цикл воспроизводства прерывается экономическими кризисами перепроизводства. Начиная с 1825 г., когда разразился первый общий кризис перепроизводства, экономические катастрофы стали неизбежными. Этому способствовало установление и развитие крупного капиталистического машинно-фабричного производства.

Для того чтобы выйти из кризиса, т. е. приспособить размеры производства к платежеспособному спросу, капиталисты вынуждены прибегать к разрушению производительных сил, недоиспользованию имеющихся производственных мощностей и рабочей силы. Стремясь уменьшить издержки производства, капиталисты используют все средства для усиления эксплуатации трудящихся и применяют более совершенные технику и технологию.

Потери производительных сил наглядно видны, например, на результатах мирового экономического кризиса 1857 г., охватившего капиталистические страны Европы и Америки. За время кризиса, т. е. примерно за 1,5 года, в США выплавка чугуна сократилась на 20%, потребление хлопка на 27%. В Англии объем судостроительной промышленности упал на 26%. Потребление чугуна в Германии уменьшилось на 25%, во Франции стали производить на 13% меньше чугуна и на столько же меньше потреблять хлопка. В России бумаготкацкое производство сократилось на 15%, шерстяткацкое — на 11%, а выплавка чугуна снизилась на 17%.

Одним из мощных мировых экономических кризисов, который потряс капиталистические страны в XIX в., был кризис 1873 г. Начавшись в Австрии и Германии, он захватил и другие европейские страны, а также США. В 1878 г. кризисное состояние стала испытывать и экономика Англии. Этот кризис был в известной мере вызван франко-прусской войной и Парижской коммуной 1871 г. В эпоху империализма изменились формы, последовательность, картина отдельных кризисов. Но они по-прежнему остались неизбежной составной частью капиталистического общества. Экономические кризисы оказывали в этот период огромное влияние на развитие техники. С одной стороны, они приводили к разрушению производительных сил, а значит, и к уничтожению техники, с другой — вызвали необходимость применения новой техники. Новейшие изобретения глав-

ным образом применяли в таких отраслях промышленности, как электротехническая, химическая, цветная металлургия, нефтеперерабатывающая, а затем автомобильная и авиационная. Образование и развитие этих новых областей промышленности происходит прежде всего в таких странах, как Германия и США, которые вскоре обогнали Англию и Францию, первыми вступившими на путь капиталистического развития.

Особенностью технического развития различных отраслей экономики стран, в которых начал складываться империализм, было создание и широкое распространение развитой системы машин, приводимых в действие электрическим двигателем. Это вызвало коренное перевооружение не только машиностроения, но и всей экономики. Ускоренное производство средств производства потребовало изменения сырьевой базы крупной индустрии, что привело к изменению структуры горной промышленности и к применению новой техники в горном деле и металлургии. Успехи химии и рост химической промышленности положили начало использованию принципиально новых сырьевых ресурсов и открыли пути перехода к новой технологии.

В последней четверти XIX в. и в первые десятилетия XX в. большие изменения произошли в строительном деле, транспорте и связи. Милитаристский характер империализма породил гонку вооружения, развитие военной техники.

В рассматриваемый период процесс, начавшийся еще при домонополистическом капитализме и связанный с превращением науки в непосредственную производительную силу, значительно ускорился. Достижения естественных наук стали основой технического перевооружения промышленности. Усилилось формирование и развитие технических наук.

Рубеж XIX и XX вв. охарактеризовался крупнейшими открытиями в естественных науках, прежде всего в физике, что привело к «новой» революции в естествознании<sup>14</sup>. Разобраться в новых явлениях и объяснить их можно было лишь на основе мировоззрения диалектического материализма. Однако подавляющее большинство ученых того времени стояло на позициях идеализма. Причины так называемого «кризиса в физике» были раскрыты В. И. Лениным в труде «Материализм и эмпириокритицизм». Важнейшей особенностью рассматриваемого периода является то, что зародившийся в первой половине XIX в. марксизм получил широкое распространение в рабочем классе. Теория научного коммунизма, разработанная К. Марксом и Ф. Энгельсом, впервые была подтверждена практикой в результате первой пролетарской революции — Парижской коммуны 1871 г. И хотя эта революция окончилась поражением, но «дело Коммуны», — по словам В. И. Ленина, — это дело социальной революции, дело полного политического и экономического освобождения трудящихся, это дело всесветного пролетариата. И в этом смысле оно бессмертно»<sup>15</sup>.

К. Маркс и Ф. Энгельс руководили борьбой пролетариата и разрабатывали революционную теорию в период домонополистического капитализма. В период империализма, когда противоречия капитализма дошли до крайних пределов, а пролетарская революция стала вопросом непосредственной практики, знамя революционного марксизма высоко поднял и понес дальше вожьд российский и международного пролетариата В. И. Ленин.

<sup>14</sup> Там же, т. 20, с. 222.

## Глава I

## РАЗВИТИЕ СИСТЕМЫ МАШИН

## 1. УСЛОВИЯ И СТИМУЛЫ РАЗВИТИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Формирование и развитие крупного машинного производства в последней трети XIX — начале XX в. в значительной степени определялось возрастающими требованиями транспорта, строительства, военной техники, горного дела, металлургии. Для этих сфер производства в эпоху империализма характерен громадный рост, который, в свою очередь, стимулирует технический прогресс капиталистической промышленности в целом и в особенности развитие машинной индустрии.

Интенсивно растет в этот период мировая транспортная сеть. Являясь главным потребителем металла, угля, транспорт стимулировал рост горнодобывающей и топливной промышленности, металлургии и особенно таких отраслей машинной индустрии, как производство паровозов, паровых вагонов, специальных железнодорожных машин и оборудования, средств механизации для складов, портов и т. п. [1].

В рассматриваемый период идет интенсивное качественное обновление средств транспорта. На железных дорогах появляются мощные локомотивы системы «компаунд», ставшие прообразом многих машин этого типа: дуплекс-компаунд, «Тектоник», «Грейт-Бритен» и др. Намного увеличилось основные технико-экономические параметры локомотивов. Со времени применения первых паровозов их скорость возросла за 70 лет в 5 раз, мощность в 100 раз, сила тяги — в 30 раз [1]. Развивается вагоностроение. Создаются новые типы вагонов, совершенствуются конструкции кузова, рессорных подвешиваний, буферных устройств, начинают широко использоваться пневматические тормоза. Появляются специальные вагоны для перевозки тяжелых машин и заводского оборудования, металлические вагоны для сыпучих продуктов, цистерны для наливных грузов.

Крупные технические сдвиги происходят и в водном транспорте. Увеличиваются размеры и водоизмещение кораблей, повышаются их скорости, характеристики и надежность. Водный транспорт, особенно военноморской флот, стимулирует развитие паровых машин, использование паровых турбин [2].

Небывалый подъем испытывает в этот период строительная индустрия, развивающаяся в соответствии с запросами промышленности, транспорта, мировой торговли, военного дела. Интенсивное строительство заводов, фабрик, железных дорог, вокзалов, портов, каналов, военных сооружений потребовало создания строительной техники, различных типов дорожных, земляных, строительных машин: экскаваторов, специальных подъемных машин, главным образом кранов различной конструкции и назначения. Появляются мостовые краны для заводских цехов, железнодорожные и порталые краны. Для перемещения массовых сыпучих и штучных гру-

зов получают применение ленточные, пластинчатые, качающиеся конвейеры.

С развитием машинной индустрии появились важнейшие технические нововведения в военном деле, которые впоследствии были использованы в мировой войне 1914—1918 гг. В свою очередь высокоразвитая военная техника капиталистических государств служила одним из сильнейших стимулов для развития промышленного производства в целом, особенно военного машиностроения, станкостроения, двигателестроения, электротехники, приборостроения и т. д. [3, 4].

Создание машин нового типа повлекло необходимость качественного развития металлургии и горного дела. В свою очередь потребности горной промышленности, необходимости резкого увеличения добычи полезных ископаемых обусловили интенсивные изыскания в области механизации горных работ, привели к созданию врубковых машин, буровых станков, перфораторов, мощных подземных машин и т. д.

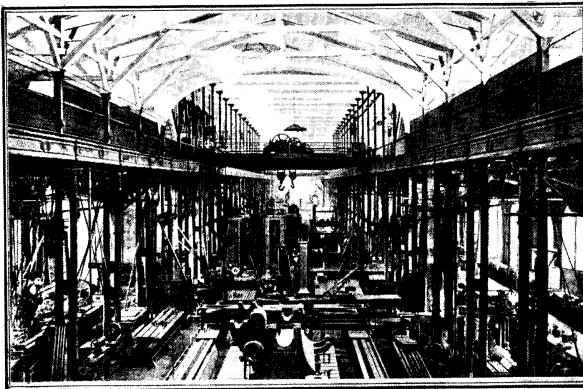
Увеличение числа заводов и фабрик, рост городов и городского населения markedly расширили внутренний рынок и увеличили спрос на продукты питания и сельскохозяйственное сырье, необходимое для обрабатывающей промышленности. Это создало необходимые предпосылки для развития сельского хозяйства, появления в этой области производства новой сельскохозяйственной техники, машин и оборудования для различных процессов земледелия и животноводства. Резко возрастает потребность в техническом оснащении отраслей промышленности, перерабатывающих продукты сельского хозяйства: масложировой, мукомольной, сахарной, мясной, молочной, вино-водочной, табачной.

Непрерывно возрастающий спрос различных отраслей производства на машины создавал объективные стимулы и благоприятные предпосылки для бурного развития машиностроения. Но чтобы удовлетворить запросы развивавшейся промышленности, транспорта, военной техники, сельского хозяйства, машиностроение должно было вырасти качественно и количественно, превратиться в крупнейшую отрасль промышленного производства. Рассматриваемый период характеризовался прогрессом в области паровой энергетики, созданием более мощных паровых машин и, что особенно примечательно, появлением и бурным развитием электрического двигателя, ставшего основой машинного производства. Внедрение электрического привода позволяло разработать многие типы металлорежущих станков, перейти к их широкому выпуску, обеспечить изготовление сложных энергетических, транспортных, горных, металлургических, сельскохозяйственных машин, изделий и оборудования для коммунальной и бытовой техники. Эти факторы и определяли характер развития машиностроения в последней трети XIX — начале XX в.

## 2 ОСОБЕННОСТИ РАЗВИТИЯ СИСТЕМЫ МАШИН

В период с 70-х годов XIX в. до начала первой мировой войны объем продукции машиностроительной промышленности вырос в 5,5 раза [5]. Наибольшая часть предприятий машиностроения была сконцентрирована в Англии, США и Германии, которые производили около 85% всей мировой машиностроительной продукции. Медленнее развивалось машиностроение во Франции, России, Австро-Венгрии, Италии.





Механосборочный цех военного машиностроительного завода  
(г. Вохум, Германия, начало XX в.)

По характеру выпускаемой продукции предприятия машиностроения этого периода можно разделить на две основные группы. К первой относились заводы, которые сосредоточивались на производстве машин какого-либо одного назначения. Это были главным образом предприятия, выпускавшие изделия, спрос на которые был очень велик: паровые машины и котлы, текстильные машины, металлообрабатывающие станки. Другую группу предприятий составляли заводы по производству машин и изделий разнообразного назначения. Эти универсальные машиностроительные предприятия наряду с паровыми и текстильными машинами выпускали и другое специализированное оборудование, например изделия для транспорта, горной промышленности, всякого рода механические приборы и т. п.

Рост выпуска машин, укрупнение фабрик и заводов сопровождалось все большей специализацией производства. «Для того, чтобы повысить производительность человеческого труда, направленного, например, на изготовление какой-нибудь частички всего продукта, необходимо, — отмечал В. И. Ленин, — чтобы производство этой частички специализировалось, стало особым производством, имеющим дело с массовым продуктом и потому допускающим (и вызывающим) применение машин и т. п.»<sup>1</sup>. Специализация позволяла значительно совершенствовать технику, тех-

нологию и организацию производства и в конечном счете намного увеличивать выпуск машин и оборудования. На машиностроительных предприятиях узкоспециализированными становились участки, цеха, целые заводы. Осуществлялся постепенный переход от индивидуального к мелкосерийному, затем к серийному, крупносерийному и массовому производству.

Укрупнение и специализация предприятий, в свою очередь, вызывают все большую специализацию металлообрабатывающего оборудования. На узкоспециализированных станках обрабатывали одну деталь или выполняли только одну производственную операцию. Такое сужение функций станка при значительном росте его производительности создавало новые возможности для массового выпуска продукции, а также для последующей автоматизации самого процесса производства.

Развитие металлообработки шло под знаком повышения качества и рабочей скорости станков. Увеличение скоростей резания металла достигалось переходом от резцов из углеродистой стали к резцам из легированной стали, затем начали применять резцы из особых сверхтвердых сплавов. Совершенствование режущих инструментов, экспериментальные и теоретические исследования процессов металлообработки, новые изобретения в этой области способствовали значительно улучшению конструкций станков, росту их мощности. Это заставляло совершенствовать привод станков и способы управления ими.

Все более острой становится проблема двигателя в машиностроительной промышленности. Паровая машина, долгие годы господствовавшая в машиностроении, все больше ограничивала дальнейшее развитие машинного производства. Паровой привод был громоздким, неэкономичным, создавал большие трудности для передачи и распределения энергии по отдельным рабочим машинам. К тому же источники топлива по мере истощения местных ресурсов все более удалялись от мест потребления, что неизбежно удорожало эксплуатацию паровых машин.

Выход из положения мог быть найден только в создании новой энергетической базы машинного производства. Такой базой явилась электроэнергетика, широкое использование электрической энергии и электрического привода в машиностроении. Электродвигатель коренным образом изменил процесс приведения в движение рабочих машин, сделал привод машин надежным, удобным и экономичным. Исчезали громоздкие трансмиссии в цехах заводов, намного уменьшались потери энергии в промежуточных передачах, значительно улучшалось использование фабрично-заводских помещений. Переход от универсальных металлорежущих станков к узкоспециализированным и внедрение электрического привода стали наиболее характерными чертами развития машиностроения в последней трети XIX — начале XX в.

Специализация производства и использование электропривода привели к тому, что машинный парк стал представлять собой систему самых разнообразных, весьма производительных машин, способных заменять труд человека в важнейших отраслях производства. С помощью машин производилось сложное машинное оборудование, аппараты, приборы, изделия производственного и бытового назначения. Машиностроение становилось основой основ всего промышленного производства.

Претерпела изменения и организация машинного производства. В «Конспекте I тома «Капитала» Ф. Энгельс отмечал: «В крупной промыш-

<sup>1</sup> Ленин В. И. Полн. собр. соч., т. 1, с. 95.

## 3. ТЕХНИЧЕСКИЙ ПРОГРЕСС СТАНКОСТРОЕНИЯ

Непрерывно возрастающее значение машин во всех отраслях производства вызвало бурное развитие станкостроения — технической базы всей машиностроительной промышленности. Металлообрабатывающие станки явились основой производства машин машинами. Их назначение — обработка всевозможных металлических заготовок с целью получения деталей определенной конфигурации, с заданными размерами, формой и качеством. Чем больше масштабы производства машин, тем более массовым должен быть выпуск деталей, тем более совершенными и производимыми должны быть станки, обеспечивающие обработку необходимых деталей. Механический суппорт, примененный вначале для токарных и токарно-винторезных станков, был впоследствии превращен в весьма совершенный механизм и в модернизированной форме перенесен на многие станки, предназначенные для изготовления машин.

По мере совершенствования механического суппорта, системы зубчатых передач, механизма подачи, зажимных устройств и некоторых других конструктивных элементов кинематической схемы металлорезающих станков превращаются во все более развитые машины. В 70-х годах XIX в. машиностроение уже располагало основными рабочими машинами, позволявшими производить механическим способом важнейшие металлообрабатывающие операции.

Выдающуюся роль в развитии станкостроения сыграл машиностроительный завод, созданный Генри Модсли. По существу это была настоящая школа механиков-машиностроителей, развивавших прогрессивные технические традиции основателя английского станкостроения. Здесь начинали работу и творческую деятельность такие видные конструкторы, исследователи и изобретатели в области машиностроения, как Д. Витворт, Р. Робертс, Д. Несмит, Д. Клемент, Э. Уитни и др. Существенно то, что на заводе Модсли была применена уже машинная система производства: трансмиссиями соединялось большое число рабочих машин, приводимых в движение универсальным тепловым двигателем. Этот завод изготавливал вначале детали для паровых машин, а в дальнейшем — выпускал токарные, строгальные и другие механические станки. По образцу завода Г. Модсли (последствиями завод фирмы «Maudslay and Field») начали создаваться многие машиностроительные предприятия [6, 7].

Будущее положение в мировом станкостроении заняли заводы фирм «Nasmyth», «Whitworth», «Sharp and Robert» в Англии, «S. Sellers», «Pratt and Whitney», «Brown and Sharp» в США. В 70—90-х годах американские предприятия, освоив выпуск новых типов станков (токарно-револьверных, универсально-фрезерных, карусельных, расточных, шлифовальных), начали опережать в техническом отношении английское станкостроение. В Германии производство станков начало развиваться в основном с 60—70-х годов XIX в. Здесь возникли фирмы «Reinecker», «Schiss», «Heimer und Pielz», «Waldrich», «Weisser» и др.

В России станки для оружейного производства (токарные, сверлильные, фрезерные, резьбонарезные, протяжные, шлифовальные, полировочные) изготавливали на Тульском оружейном заводе. В дальнейшем такие станки начали строить Ижевский, Сестрорецкий, Луганский заводы. Основанный в Москве завод бр. Бромлей (ныне «Красный пролетарий»)

ленности применяются двоякого рода машины: или 1) кооперация однородных машин (механический ткацкий станок, машины для изготовления конвертов...) — здесь уже имеется технологическое единство благодаря передаточному механизму и двигателю, или 2) система машин, комбинация различных частичных рабочих машин...»<sup>2</sup>. Уточняя особенности системы машин, Ф. Энгельс подчеркивает, что здесь «процесс труда *обычно* может быть разделен на свои составные части, и проблема выполнения какого-либо частичного процесса при помощи машин решается наукой или основанным на ней практическим опытом»<sup>3</sup>.

Простая кооперация однородных или разнородных рабочих машин, которая составляла основу механической обработки начального периода капитализма, постепенно и во все большем масштабе уступает место расчлененной с л и с т е м е а ш и н. Наиболее активно она формировалась в машиностроении. Здесь система машин представляла собой сложную совокупность разнородных, но одновременно действующих машин, которые получали движение уже не от одного общего двигателя, а от индивидуальных двигателей при каждой рабочей машине или при группе машин. В системе машин предмет труда проходит последовательно ряд взаимосвязанных частичных процессов, которые выполняются цепью разных, дополняющих одна другую рабочих машин. Таким образом, один цех, а иногда и целое предприятие представляли собой гигантскую комбинированную систему, состоявшую из десятков и сотен рабочих машин различного типа.

Необходимость обеспечить непрерывность рабочих процессов в развитой системе машин предполагает строго определенное соотношение между числом, размерами, мощностью и быстротой действия машин. Это требует также согласования всех фаз производственного процесса, высокого уровня механизации основных и вспомогательных операций. «Комбинированная рабочая машина, представляющая теперь расчлененную систему разнородных отдельных рабочих машин и групп их, тем совершеннее, чем непрерывнее весь выполняемый ею процесс, т. е. чем с меньшими перерывами сырой материал переходит от первой до последней фазы процесса, следовательно чем в большей мере перемещается он от одной фазы производства к другой не рукой человека, а самим механизмом. Поэтому, если в мануфактуре изолирование отдельных процессов является принципом, вытекающим из самого разделения труда, то, напротив, в развитой фабрике господствует принцип непрерывности отдельных процессов»<sup>4</sup>.

Непрерывность производственных процессов — характерная черта развития машинной индустрии, которая в конечном счете приводит к созданию автоматических машин и автоматизированной системы производства. В рассматриваемый период в машиностроении шел процесс развития расчлененной системы машин на основе совершенствования металлорезающих станков, углубления их специализации, внедрения электрического привода.

<sup>2</sup> Маркс К., Энгельс Ф. Соч., т. 16, с. 289.

<sup>3</sup> Там же, с. 289—290.

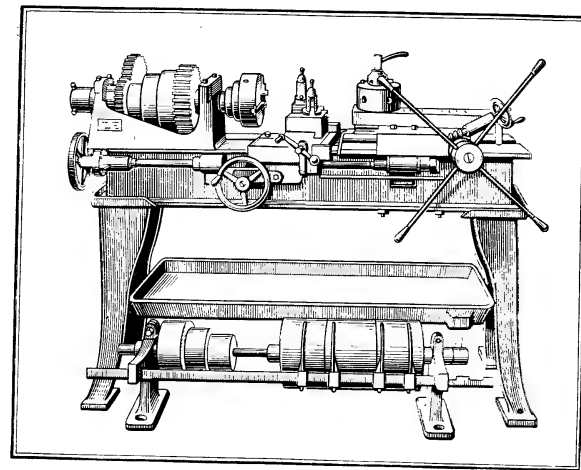
<sup>4</sup> Там же, т. 23, с. 392.

стал первым русским специализированным станкостроительным заводом; на Всероссийской выставке в Петербурге в 1870 г. он выставил несколько оригинальных станков: радиально-сверлильный, продольно-строгальный, поперечно-строгальный. На политехнической выставке в Москве в 1872 г. завод получил золотую медаль за экзпонированные продольно-строгальные и колесо-токарные станки. В 1900 г. завод бр. Бромлей успешно демонстрировал свою продукцию на Всемирной промышленной выставке в Париже. Появились в России и другие станкостроительные предприятия: «Фельзер» в Риге, «Феникс» в Петербурге, «Штоллен» и «Вейхель» в Москве, завод бр. Маминных в Балакове, «Столы» в Воронеже, заводы Грачева и Доброва в Москве. Однако в целом выпуск станков в России был незначительным даже в 900-х годах; он не удовлетворял потребности развивавшейся промышленности ни по количеству, ни по техническому уровню. Это и служило причиной значительного импорта зарубежных станков для российских заводов и фабрик.

Мировое станкостроение в последней трети XIX в. располагало пятью основными типами металлорежущих станков. Преобладающую часть станочного парка составляли токарные станки, которые применяли для обработки наружных и внутренних поверхностей тел вращения. На токарных станках обтачивали гладкие и ступенчатые валы, конусы, шары, различные фасонные поверхности, растачивали цилиндры, отверстия, нарезали резьбу. Вторую многочисленную группу составляли сверлильные станки, предназначавшиеся для сверления и обработки отверстий, а также для расточки и нарезки резьбы. Строгальные станки, подразделявшиеся на горизонтальные и вертикальные (долбежные), служили для обработки плоских поверхностей изделий. Расширилось использование фрезерных станков для обработки наружных и внутренних поверхностей особенно точных деталей, а также для получения изделий фасонной конфигурации. Наконец, пятую группу металлообрабатывающего оборудования составляли шлифовальные станки, на которых проводили чистовую обработку деталей различной формы с помощью абразивных материалов и инструментов.

В свою очередь, специализированные типы станков дифференцировались по характеру выполняемых в производственном процессе технологических операций. Появляются станки, предназначенные для выполнения одной определенной или нескольких аналогичных операций. Так, в группе универсальных токарных станков появились специализированные станки для растачивания длинных цилиндрических и полых изделий (типа оружейных стволов и гребных валов). Был создан горизонтально-расточный станок, предназначенный для точной расточки внутренних поверхностей. Специфика обработки крупных деталей малой длины и большого диаметра вызвала появление токарно-лобовых станков. Для тяжелых, крупногабаритных изделий, которые трудно установить на обычных токарных станках, создаются токарно-карусельные станки. Видную роль в металлообработке начинают играть токарно-револьверные станки, снабженные специальной револьверной головкой, в которой закрепляют разнообразные режущие инструменты. Некоторые станки револьверного типа позволяли устанавливать в одной головке до 12—16 инструментов.

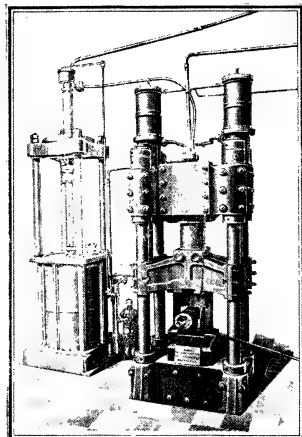
Дифференцируются и другие типы станков. Из сверлильных выделяются радиально-сверлильные станки, предназначенные для сверления



Токарный станок завода «Бромлей» (Россия, 1915 г.)

и последующей обработки отверстий в деталях больших габаритов, которые не могут устанавливаться на обычных сверлильных станках. Для строгания плоскостей крупных корпусных деталей (типа рам, станин, корпусов машин) создаются мощные продольно-строгальные станки с движущимся столом длиной 3—4 м и более. Появляются продольно- и карусельно-фрезерные станки, позволяющие обрабатывать одновременно по нескольким массивным деталям. Наряду с обычными шлифовальными станками конструируются круглошлифовальные станки для наружного шлифования, для внутреннего шлифования и т. д. Создается оборудование, специально предназначенное для нарезания зубьев в зубчатых колесах: зубофрезерные, зубодолбежные, зубострогальные станки. Усложнение деталей машин и специализация металлообработки приводят к появлению шлиефрезерных, шпоночно-фрезерных, протяжных, хонинговальных и других специальных станков [8].

Параллельно с развитием металлорежущего оборудования шел процесс технического совершенствования других видов машин-орудий, предназначенных для обработки металлов. Так, потребности получения крупных металлических заготовок вызвали проектирование и строительство гигантских машин дляковки и прессования металлоизделий. В 70—80-х годах на заводах Круппа в Германии работали паровые молоты с массой



Гидравлический ковочный пресс (Германия, 90-е годы XIX в.)

падающих частей 50—75 т. В 1891 г. в США был построен огромный молот с массой рабочей части 125 т. Высота этого гиганта составляла 27,5 м, а наковальня весила 475 т; от ударов машины при ее работе содрогались близлежащие заводские здания и постройки [9]. Сложности эксплуатации молотов-гигантов привели к распространению на машиностроительных заводах для производства крупных поковок мощных гидравлических прессов. При рабочем усилии гидравлического пресса 10 тыс. т он заменяет молот с массой падающих частей до 500 т (постройка и использование такого молота были бы чрезвычайно трудным делом). Без мощных гидравлических прессов была бы невозможна постройка многих машин-гигантов, у которых отдельные части весили десятки и более тонн.

Повышение производительности металлообрабатывающего оборудования требовало возможно большей механизации основных и вспомогательных операций, сокращения непроизводительных затрат времени. В то же время сужение функций станков прямо вело к упрощению выполняемых ими операций и тем самым создавало благоприятные условия для внедрения автоматических процессов. Были созданы полуавтоматические и автоматические станки, у которых подвод режущего инструмента в рабочее положение, подача инструмента и отвод его после работы в исходное положение совершались автоматически, без участия человека.

Первыми автоматизированными станками были деревообрабатывающие автоматы, сконструированные в США К. Випплом и Т. Слоаном. Один из первых металлообрабатывающих автоматов создал американец Х. Спенсер в 1873 г. на базе револьверного станка. В качестве управляющего устройства в этом автомате использованы кулачки и распределительный вал. Появившиеся в 70—80-х годах автоматы системы «Кливленд» имели устройства для накатки резьбы, для быстрого сверления отверстий, нарезания шлицев, фрезерования четырех плоскостей. Получили также распространение автоматы системы «Brawn and Sharp» и др.

Технический прогресс станкостроения привел к созданию в 90-х годах XIX в. многошпиндельных станков-автоматов; их появление было вызвано стремлением максимально увеличить число одновременно работающих инструментов и тем самым повысить производительность станка

с помощью совмещения операций. В многошпиндельных автоматах могли включаться в работу десятки фасонно-отрезных, проходных и осевых инструментов. Однако в этот период станки такого типа еще не получили широкого применения [10].

Рост объема металлообработки заставил пересмотреть все ранее существовавшие средства резания металлов и вызвал значительное их усовершенствование. Особенно сильно на развитие технологии механической обработки подействовало изобретение в начале 900-х годов быстрорежущей стали, знаменовавшее крупный прогресс в инструментальном производстве. Эта сталь, впервые предложенная в 1898 г. американцами Тейлором и Уайтом, получила название быстрорежущей за свою способность сохранять режущие свойства при повышенных скоростях резания.

Резцы, изготовленные из быстрорежущей стали, впервые демонстрировались на Всемирной промышленной выставке в Париже в 1900 г. С применением этих резцов скорость резания почти в 5 раз превысила скорости, допускаемые для резцов из обычной углеродистой стали. Добавка в сталь специальных легирующих элементов (марганца, хрома, вольфрама) значительно повышала твердость инструмента и его красностойкость, т. е. способность сохранять свои рабочие свойства при нагреве, возникающем в процессе обработки. Твердость новой стали при нагреве, при нагреве до красного каления (при температуре 600° С). Многочисленные опыты, проведенные в 1901—1906 гг., привели Тейлора и Уайта к заключению, что лучшим быстрорежущим сплавом является сталь с содержанием 0,67% углерода, 18% вольфрама, 5,47% хрома, 0,11% марганца, 0,29% ванадия и 0,043% кремния. Быстрорежущую сталь такого состава закаливали нагретом до очень высокой температуры (выше 900° С) с последующим быстрым охлаждением в воде. Инструменты, изготовленные из быстрорежущей стали, вскоре получили широкое распространение.

Еще большую твердость и износостойкость придали режущему инструменту твердые сплавы, в которых карбиды легирующих элементов — вольфрама, молибдена и хрома составляли основу рабочей части инструмента. В 1907 г. англичанину Хейнсу был выдан патент на твердый сплав из литых карбидов, названный им «стеллитом». В последующие годы создаются и другие твердые сплавы подобного типа, не получившие, однако, в то время большого распространения, так как при высокой твердости и красностойкости они были весьма хрупкими.

Применение инструментов из быстрорежущей стали и твердых сплавов привело к постепенному изменению конструкции оборудования, к появлению так называемых «быстрообрабатывающих станков» [11]. Чтобы полностью использовать режущие свойства новых инструментов, конструкторы при проектировании станков должны были обеспечить большие усилия резания и большие скорости, чем при работе резцами из углеродистой стали. Потребовались большая мощность привода станков, большее число ступеней скоростей, более быстрое управление и обслуживание. Известный технолог проф. А. Д. Гатнук в предисловии к книге Ф. Тейлора писал, что появление быстрорежущей стали открыло новую эру в механическом деле [12].

Технический прогресс в области металлообработки и станкостроения был неразрывно связан с новой областью теоретических и экспериментальных исследований, составивших впоследствии теорию резания металлов.

Начало научного изучения процессов механической обработки металлов было положено работами известного русского ученого, профессора И. А. Тиме. Проведенные им в 60—80-х годах исследования процесса стружкообразования при разных подачах и скоростях резания позволили выявить ряд закономерностей скалывания и надлома металлической стружки, сформулировать теоретические основы резания металлов и установить некоторые законы резания.

Результаты многочисленных исследований И. А. Тиме были изложены в его оригинальной работе «Сопротивление металлов и дерева резанию. Теория резания и приложение ее к машинам-орудиям» (1870 г.). Основные положения теории резания были в дальнейшем развиты Тиме в «Мемуаре о строгании металлов», изданном в 1877 г. на русском, французском и немецком языках, а затем в капитальном двухтомном труде «Основы машиностроения» [13]. Вопросы механики процесса резания и динамики металлообработки подробно изучал проф. К. А. Зворыкин. Его книга «Работа и усилие, необходимые для отделения металлических стружек» (1893 г.) была ценным дополнением к трудам И. А. Тиме и представляла важный вклад в техническую литературу. К проблеме рационального резания металлов было привлечено внимание и ряда других русских ученых-машиностроителей: А. В. Гадюлина, П. А. Афанасьева, А. П. Гавриленко. В Европе явления, происходящие при резании металлов, плодотворно изучали Кларинваль, Кокиля, Жоссель, Треска (во Франции), Гарт, Гартинг, Вибе (в Германии) и др.

Крупную роль в развитии теории и практических методов резания металлов сыграли работы американского инженера Ф. Тейлора. В 80-х годах им были поставлены массовые опыты по определению оптимальных углов резания, форм резцов и скоростей резания металлов. На основании почти 50 тыс. опытов, проведенных за 26 лет, было установлено, что каждая конкретная задача включает до двенадцати независимых переменных (качество металла, толщина стружки, охлаждение резцов и т. д.). Изучая зависимость скорости резания и стойкости режущего инструмента, анализируя затраты времени на каждую операцию, Тейлор эмпирически, а затем и теоретически установил плавновыгоднейшие режимы резания при металлообработке, что имело большое практическое значение для машиностроения. Поскольку детальные расчеты режимов резания оказались довольно трудоемкими, Тейлор со своими сотрудниками составил специальные «счетные линейки для машиностроительных заводов», с помощью которых рабочие-станочники могли определять необходимые режимы резания. Исследования Тейлора, изложенные им в книге «Искусство резать металлы» [12], были затем дополнены и обобщены в его работе об основах организации промышленных предприятий [14], которая впоследствии послужила одним из обоснований «поточной» системы организации капиталистического производства.

Важной особенностью техники машиностроения конца XIX — начала XX в. было повышение точности производства машин. Во многом это было связано с работами известного английского станкостроителя Д. Витворта, внесшего в машиностроение принципы и методы точной работы. Витворту принадлежит изобретение первой измерительной машины; он ввел в практику машиностроения измерительные калибры и добился возможности измерять обрабатываемые поверхности с точностью до сотых, а позже

и до тысячных долей миллиметра. Калибры Витворта, допускавшие точность пригонки машинных деталей порядка одной десятичной доли дюйма, составляли уже в 80—90-х годах неотъемлемую принадлежность каждого крупного машиностроительного завода в Европе и Америке. В последние годы жизни Витворта его предприятие могло изготавливать измерительные машины, обеспечивавшие точность до одной миллионной доли дюйма. На заводе Витворта были впервые реализованы принципы стандартизации и взаимозаменяемости резьбы на винтах, нашедшие впоследствии широчайшее применение в машиностроении и ставшие основой создания унифицированных и стандартных деталей и узлов машин.

Изготовление многочисленных деталей и частей машинного оборудования на специализированных и высокопроизводительных металлорежущих станках с соблюдением методов точных измерений, на прочной основе нормалей, стандартов и принципов взаимозаменяемости деталей подготовило техническую базу для перехода машиностроения к серийному и массовому производству изделий.

#### 4. НОВЫЕ ТИПЫ МАШИН-ДВИГАТЕЛЕЙ. ПРОМЫШЛЕННЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД

Развитие машин-двигателей в последней трети XIX в. шло в нескольких направлениях. Прежде всего продолжалось, насколько это было возможным, совершенствование паровых машин, которые оставались основными энергетическими машинами на протяжении всего XIX столетия. В конце века в связи с развернувшимся строительством электростанций и крупных океанских судов быстро росли размеры и рабочие скорости стационарных паровых машин. Появились новые типы паровых котлов и более экономичные машины с числом оборотов от 200 до 600 в минуту, однако мощностей их, как оказалось, можно увеличить лишь до определенных пределов. Строились также машины очень больших габаритов (с мощностью до полутора десятков тысяч лошадиных сил), но они допускали невысокое число оборотов и были малоэкономичными [15].

К концу века появляются промышленные образцы паровых машин-двигателей совершенно нового — вращательного типа. В 1889 г. шведский инженер К. Лаваль создал одноступенчатую активную паровую турбину небольшой мощности. При этом Лаваль решил ряд важных задач не только турбиностроения, но и машиностроения в целом. Он изобрел расширяющее сопло, дающее возможность превращать энергию давления пара в энергию скорости, сконструировал рабочий диск турбины так, что при вращении колесо надежно сопротивлялось разрывавшим его огромным силам инерции. Прибегнув к смелому техническому решению, изобретатель построил турбину с гибким валом, подтвердив на практике гипотезу о том, что при очень быстром вращении гибкий вал становится прямым. Наконец, Лаваль построил к своей турбине редуктор — систему зубчатых передач для уменьшения числа оборотов.

Предпосылкой практического внедрения паровой турбины было возникновение машин-орудий с высоким числом оборотов. К таким машинам-орудиям относились, например, дисковые пилы деревообрабатывающих заводов, для приведения в действие которых успешно начали применять

паровые турбины. Машина, для которой Лаваль использовал изобретенную им турбину, был сепаратор, применяемый в пищевой промышленности для отделения сливок от молока и требующий 6—7 тыс. об/мин. В 1893 г. на Чикагской всемирной выставке демонстрировался турбинный Лаваль мощностью около 5 л.с. с числом оборотов 30 тыс. в минуту. Позднее одноступенчатые турбины Лавали достигали мощности 300 л.с. [2].

В 80—90-х годах ведутся работы по созданию и практическому использованию многоступенчатых реактивных турбин. Изобретатель турбины Ч. Парсонс (1884 г.) создал агрегат, который можно считать предшественником турбогенератора. К концу 90-х годов машиностроительный завод Парсонса освоил выпуск надежных в эксплуатации паровых турбин разного назначения. Этим было положено начало последующему крупному росту турбостроения в Англии, Германии, США, Франции и других странах.

Развитие техники машиностроения подготовило возможность реализации на практике идеи создания двигателей внутреннего сгорания. В 70—90-х годах XIX в. были созданы различные типы двигателей внутреннего сгорания (газовый двигатель Н. Отто, бензиновый двигатель Г. Даймлера, двигатель высокого сжатия Р. Дизеля, способный работать на тяжелом топливе). В течение одного-двух десятилетий двигатель Р. Дизеля получил массовое распространение в производстве, особенно для тяжелых самоходных машин — тракторов, кранов, экскаваторов, бульдозеров, а также для транспортных машин различного назначения.

В конце века появляется еще один тип теплового двигателя — газовая турбина, впервые построенная русским морским инженером И. Д. Кузнецким в Кронштадте в 1893—1897 гг. Однако развитие и внедрение газовых турбин из-за ряда технических трудностей стало возможным только во второй четверти XX столетия и в последующие годы.

По мере развития и устояния производственной техники и необходимости дробления механической энергии паровая машина все более переставала быть универсальным двигателем. Ее функции постепенно и во все возрастающем объеме переходят к другим, более совершенным и более эффективным машинам-двигателям. Паровая турбина становится двигателем электрогенераторов и крупных морских судов, дизель — двигателем локомотивов, судов, тракторов, экскаваторов; в автомобилях же и самолетах устанавливают легкий и экономичный бензиновый мотор.

В многочисленных рабочих и технологических машинах главным становится электрический двигатель. Применение в промышленности электропривода вместо паровых машин позволяло концентрировать производство электроэнергии на крупных электрических станциях, что вело к существенному упрощению системы промышленного энергоснабжения и к значительному ее удешевлению. Электропривод обеспечил широкое развитие разнообразных типов металлообрабатывающих станков, подъемных машин, лифтов, конвейеров, мотор-вагонов, грузозащитно-разгрузочных машин и многих других видов производственной техники. В 80—90-х годах основным электрическим двигателем, применявшимся в промышленности, был двигатель постоянного тока. Основную сферу применения электропривода постоянного тока составляли крупные машинные агрегаты типа прокатных станов, шахтных подъемных машин и некоторые другие виды оборудования.

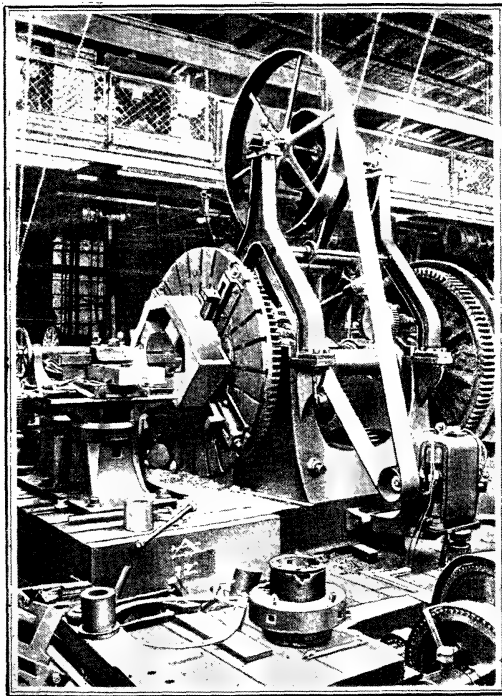
По мере дальнейшего развития электротехники, позволившего создать экономически выгодную и технически несложную систему трехфазного тока, открывались широкие возможности применения в промышленном производстве асинхронных двигателей переменного тока. Трехфазные двигатели могли широко использоваться в металлорежущих станках, в горных, строительных и текстильных машинах, в конвейерах, насосах, вентиляторах и т. д. [16].

Простота конструкции асинхронного двигателя, особенно с короткозамкнутым ротором, позволяла устанавливать в цехе или на заводе сотни и тысячи таких двигателей. Асинхронные двигатели, надежные в эксплуатации, могли изготавливаться герметическими закрытыми, и, следовательно, их можно было использовать в самых тяжелых условиях: при повышенной влажности, в атмосфере бензиновых паров, различных газов и т. п. Асинхронные двигатели без повреждений выдерживают значительные кратковременные перегрузки. К концу 90-х годов электромашиностроительные заводы различных стран уже выпускали асинхронные двигатели в большом количестве и в широком диапазоне мощностей.

Внедрение электрического привода играло революционизирующую роль в промышленном производстве. Сначала электродвигатели устанавливали для привода отдельных машин и станков большой мощности. Затем в цехах предприятий стали заменять паровую машину, выполнявшую функцию центрального привода, электродвигателем. Так создавался групповой электропривод с многочисленными трансмиссиями в цеху. Это неизбежно создавало повышенную опасность при работе и обуславливало тяжелые производственные условия. Трансмиссионные передачи представляли собой систему основных и распределительных валов с насаженными на них шкивами, от которых движение с помощью ремней передавалось на шкивы станков. Вся система получала вращение от мощного центрального двигателя, расположенного в цеху или вне цеха. В течение многих десятилетий трансмиссии были важной и неотъемлемой частью большинства машиностроительных, текстильных, пищевых, деревообрабатывающих и других предприятий. От расположения трансмиссионных установок (как при паровом, так и электрическом приводе) зависели технологические процессы, наличие и состав подъемно-транспортных устройств, конструктивные формы заводских помещений.

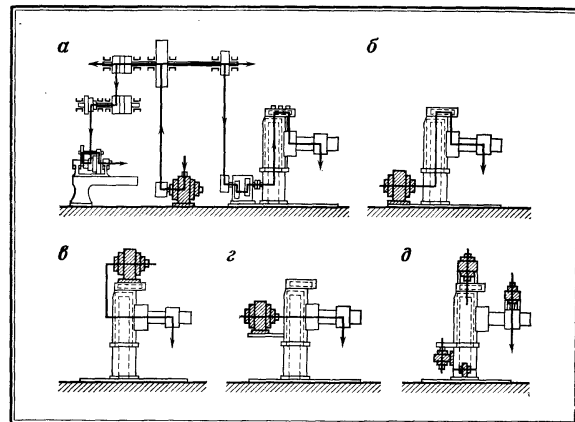
В дальнейшем в связи с непрерывным ростом числа приводимых от одного двигателя рабочих машин энергию центральной двигательной установки начали рассредоточивать на несколько двигателей, размещенных в здании цеха. Единую трансмиссию делили на участки, обслуживавшие отдельные группы; такая групповая трансмиссия позволяла с большой гибкостью и надежностью управлять станками. Характерным примером группового электропривода может служить один из цехов Сестрорецкого оружейного завода, где в 1911 г. все металлорежущие станки были объединены в группы, каждая из которых предназначалась для одного вида работ и приводилась в действие общим электродвигателем через единый вал [17].

Совершенствование промышленных электродвигателей обусловило целесообразность применения для привода станков одиночного, или индивидуального, электропривода. Такой привод, соединенный лишь с одним станком, освобождает цехи промышленных пред-



Лобовой токарный станок с приводом от электродвигателя  
(Франция, конец XIX в.)

приятный от многочисленных трансмиссий, уменьшает холостые ходы машин, намного сокращает непроизводительные потери энергии. Индивидуальный электропривод позволяет каждому отдельному исполнительному механизму работать при наиболее удобных скоростях; он дает возможность значительно ускорить процессы пуска и изменения направления вращения.



Эволюция радиально-сверлильных станков на различных этапах развития электропривода  
а — групповой привод с трансмиссионными передачами; б, в, г — индивидуальный привод с различной конструктивной компоновкой; в — многодвигательный привод

Индивидуальный электропривод существенно повлиял и на конструкцию самих рабочих машин. Слияние приводного двигателя с исполнительным механизмом получалось иногда настолько тесным, что конструктивно они представляли собой единое целое. Наиболее гармоничная конструктивная связь электропривода со станком осуществляется при использовании фланцевых электродвигателей, которые выпускались в горизонтальном и вертикальном исполнении и могли непосредственно присоединяться к механизмам станков без промежуточных ременных передач. Фланцевые двигатели получили применение прежде всего для привода высокоскоростных шпинделей сверлильных, расточных, шлифовальных, полировальных и деревообрабатывающих станков. Эффективным оказалось использование в качестве индивидуального привода асинхронных электродвигателей и особенно двигателей с изменяемым числом оборотов (регулируемый привод). При электрическом или электромеханическом регулировании скорости создаются возможности значительного упрощения кинематической схемы металлообрабатывающих станков.

В начале XX в. преимущества использования индивидуального электропривода в различных отраслях производства, особенно в машиностроении, были доказаны. Такой привод на базе трехфазного тока получил широкое применение в промышленности. Этому способствовало и то, что элек-

тротомашиностроительные предприятия освоили выпуск крупных серий асинхронных двигателей сравнительно небольшой мощности, предназначенных для металлорежущих станков, а также для ткацких, прядильных, полиграфических, деревообрабатывающих и других машин. Трехфазные электродвигатели очень быстро стали проникать не только на механические, но и на цементные и кирпичные заводы, на текстильные и бумажные фабрики, в рудники и шахты.

Развитие индивидуального электропривода рабочих машин привело к еще более совершенной системе — многодвигательному электродвигательному приводу. В этом случае уже не только сама машина, но каждый исполнительный механизм одной машины приводится в движение отдельным электродвигателем. Например, в металлорежущем станке один двигатель приводит во вращение шпиндель, другой обеспечивает подъем или опускание рабочего органа, третий — поворот и т. д. Такой привод обычно снабжен развитой системой регулирования и автоматикой.

В первых десятилетиях XX в. многодвигательный привод был осуществлен прежде всего в радиально-сверлильных и шлифовальных станках. Так, в станке для шлифовки шеек вагонных осей устанавливали шесть двигателей: два из них вращали шлифовальные круги, два обеспечивали подачу кругов в процессе обработки, один вращал обрабатываемую деталь и один приводил в действие насос и гидравлический домкрат. Впоследствии многодвигательный электропривод, обеспечивающий автоматическое выполнение технологических операций и согласование отдельных движений, получил большое распространение в станкостроении. Вследствие сокращения вспомогательных операций, более точного и плавного регулирования скорости существенно повысилась производительность станков, облегчился труд рабочих, улучшилось качество изделий. Существенные преимущества многодвигательного привода стимулировали его использование в горных, металлургических, текстильных, полиграфических и многих других машинах.

## 5. СИСТЕМЫ МАШИН В ОСНОВНЫХ ОТРАСЛЯХ ПРОИЗВОДСТВА

Осуществлявшееся в ходе промышленного развития объединение машин в определенную систему было важнейшим признаком развитого машино-фабричного производства. Наиболее прочные позиции система машин заняла в машиностроении, где ее основу составил парк специализированных, высокопроизводительных металлорежущих станков с электроприводом. Комплектование механических цехов в машиностроении на начало 900-х годов было примерно следующим: токарных станков — 44—50%, сверлильных (вертикально-сверлильных, горизонтально-сверлильных, радиально-сверлильных) — 15—17%, строгальных, долбежных и фрезерных — 21—25%, зуборезных, наладочных, болторезных и прочих станков — 20—28%. Крупные станки размещались под кранами или другими подземными устройствами. На каждый станок по нормам отводилось в среднем примерно по 16 м<sup>2</sup> пола цеха [18].

Наиболее распространены были механические цеха прямоугольной формы. Среднюю часть здания делали более высокой для устройства стек-

лянных фонарей, обеспечивающих освещение цеха; с боков располагали более узкие помещения со сравнительно низкими односкатными крышами. Средняя часть цеха отделялась от боковых рядом колонн, которые служили опорой для подвесных путей мостовых кранов, двигавшихся над пеховыми пролетами. В среднем пролете устанавливали наиболее крупные станки, а в боковых — небольшие станки, а также верстаки с тисками и другими инструментами для сборочных работ.

Для крупных механических цехов с большим парком металлорежущих станков строили здания так называемой павильонной системы: они представляли в плане ряд смежных прямоугольных строений, отделенных одно от другого колоннами, поддерживающими пилообразную крышу с многорядными стеклянными фонарями. Такая система постройки давала возможность удобно увеличивать площадь пола цеха, не уменьшая в то же время его освещенности. Пол настилали из деревянных брусков, цементных плит, асфальта или бетона; крупногабаритные и тяжелые станки устанавливали на бетонных основаниях. Отопление цехов большей частью было паровым, в малых и старых цехах сохранялось печное отопление. Для вечернего и ночного освещения длительное время использовали газовые фонари, которые впоследствии заменили электрическими светильниками.

Численность и состав станков в механических цехах машиностроительных заводов были самыми различными — в зависимости от характера выпускаемых изделий, их массовости, технического уровня производства. Проф. И. А. Тиме, обстоятельно знакомившийся с опытом работы ряда европейских предприятий, приводит в своей книге [13] интересные данные о структуре и механической оснащенности машиностроительных заводов и фабрик, главным образом английских и немецких. Например, машиностроительный завод «Brawn and Sharpe», специализировавшийся на производстве вагонов, имел в своем составе крупный механический цех, две кузницы, болторезный и столярные цеха. В механическом цеху было установлено 15 токарных станков, около 50 сверлильных, 2 строгальных, 3 пночных станка. На заводе работали около 1000 рабочих, годовая производительность составляла до 2000 вагонов. Механический завод «Maundslay and Field» в Лондоне, выпускавший различные машины для флота, имел свыше ста тридцати токарных станков, в том числе 40 больших, 59 средних, 32 малых. На заводе были также 26 строгальных станков, 8 пночных, 11 болторезных, 52 сверлильных, 7 пресов и 7 механических ножниц; численность рабочих — 1200 человек. На заводе «Хатерингтон энд санз» в Манчестере, изготовлявшем машины-орудия для обработки металлов и дерева, а также прядильные и ткацкие машины, все токарносборочные цеха размещались в большом пятиэтажном здании. Этот завод, имея 900 рабочих, располагал значительным по тем временам парком оборудования, составлявшим 350 металлорежущих станков.

Наряду с данными по европейским заводам, собранными И. А. Тиме во время его зарубежных поездок, он приводит официальные данные о машиностроительном производстве в целом по России (на 1875 г.). Общая численность механических, машиностроительных и чугунолитейных фабрик и заводов — 493; в них установлены 462 паровые машины суммарной мощностью 8459 л. с. Состав и численность всех машин-орудий были таковы: токарных самодействующих станков — 1033, токарных ручных —



1237, строгальных станков — 629, долбежных — 177, сверлильных — 1168, болторезных — 423, зуборезных — 48, прессов — 245. Общая численность рабочих составляла 46 516 человек. Большинство работников были заняты на ручных процессах и операциях, удельный вес рабочих-станочников был значительно меньше, чем на заводах Европы и Америки.

В дальнейшем оснащение российских механических предприятий металлообрабатывающими машинами возросло. В начале 900-х годов в России уже были заводы, располагавшие 100 и более станками (Путиловский, Луганский, Обуховский, Краматорский и др.). В станочном парке увеличилась доля специальных токарно-револьверных, радиально-сверлильных, карусельных, продольно-строгальных, шлифовальных станков. Таким образом, несмотря на заметное отставание технической оснащенности российского машиностроения, постепенно на механических заводах и фабриках России формировалась и развивалась система машин, основу которой составляли специализированные металлообрабатывающие станки для производства машин машинами.

Становление и развитие системы машин характерно не только для машиностроения. В том или ином виде системы машин создаются в последней трети XIX — начале XX в. в основных отраслях хозяйства развитых капиталистических стран: в горной промышленности, в строительстве, на транспорте, в сельскохозяйственном производстве, в текстильной, бумажной, полиграфической и других отраслях промышленности.

Основой развития систем машин в различных отраслях производства являлась специализация самого машиностроения, выделение из него специфических отраслей, способных проектировать и изготавливать машины, предназначенные для выполнения определенных технологических процессов в тех или иных производствах. Так появились и начали количественно и качественно расти горные, транспортные, строительно-дорожные, металлургические, сельскохозяйственное машиностроение и т. д.

Характерным было формирование и развитие системы машин в добывающих отраслях производства. Стремление механизировать разведочное бурение, ускорить проходку горных выработок, увеличить добычу руды и угля приводит прежде всего к появлению различных конструкций буровых машин и станков. В 50—70-х годах в шахтах Европы и Америки начала осуществляться механизация процесса заготовки угля, которая могла и должна была стать технической основой развития системы машин в горной промышленности. Вслед за появлением различных конструкций врубовых машин на базе ручного и пневматического привода создаются цепные врубовые машины с электрическим приводом. Число машин для заготовки угля растет в огромных масштабах. Долгое время самым местом в механизации горных работ было отсутствие машин для доставки угля. Создание скреповых, ленточных и качающихся конвейеров оказалось тем важным звеном в системе машин горной промышленности, которое позволило механизировать транспорт от забоев до откаточных выработок. Одновременно появляются машины для подземного рельсового транспорта — вначале воздуховозы с пневмодвигателями, а затем троллейные и аккумуляторные электровозы. Для проведения горных выработок создаются специальные проходческие и погрузочные машины. С помощью

мощных электрифицированных подъемных машин решаются проблемы транспортировки угля и руды на поверхность горных предприятий.

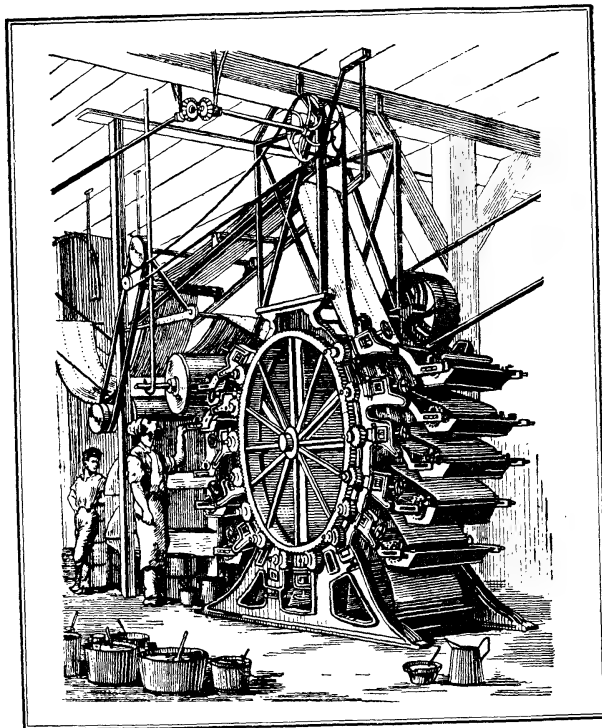
Таким образом, постепенно формировалась и развивалась система специализированных горных машин, которые могли обеспечить непрерывность производственных операций по всему технологическому циклу горного производства: проведение горных выработок — заготовку и отбойку угля — доставку к откаточным выработкам — откатку по подземным рельсовым путям — подъем на поверхность. Необходимым этапом в создании системы машин в горной промышленности стало внедрение электро-механических установок для доводки и вентиляции.

В металлургии потребности массового выпуска различных профилей металла, особенно рельсов, приводят к ускоренному развитию прокатного производства, к появлению в нем сначала отдельных машин, а затем целой системы машин, включающей в себя установки для транспортировки заготовок, нагревательные печи, механические агрегаты самого прокатного стана, машины для резки, правки и очистки металла, установки для травления и термообработки, для клемления и упаковки готового проката. В такой системе машины используются сложнейший многодвигательный привод, включающий десятки и сотни электродвигателей, множество механических передач, сложную систему управления.

В текстильной промышленности развитие и совершенствование многочисленных рабочих машин привело к перевороту в технике прядения тканей и в других процессах текстильного производства. Была создана сложная система машин, выполнявшая весь комплекс технологических операций по производству тканей. Прядение было разделено между машинами для так называемого предварительного и окончательного прядения. Первый, предварительный процесс осуществлялся на специальных ровничных машинах — банкахропах; они производили ровницу, поступавшую затем на машины для окончательного прядения. Для толстой пряжи ровницу пропускали последовательно через два банкаропа, для тонких номеров пряжи — через четыре.

Машинизация текстильного производства, начавшаяся с прядения и ткачества, потребовала также машинизации обработки сырья, создания разветвленной системы хлопкоочистительных и хлопкообрабатывающих машин. Кипоразбиватели, питатели, опенеры, трепальные, чесальные, ленточные машины, различные типы банкахрошей, ватерные и другие рабочие машины, приводимые в движение вначале центральным двигателем, затем групповым и индивидуальным приводом, вытеснили в течение XIX столетия все прежние орудия труда, существовавшие веками. Переворот в производстве тканей сопровождался механизацией процессов обработки тканей, в первую очередь отделки, крашения, печатания. Ситцепечатные машины, обеспечивавшие одновременно нанесение нескольких красок, полностью вытеснили процессы ручного крашения. Уже в период, когда Ф. Энгельс писал о положении рабочего класса в Англии, один рабочий с подручным выполнял на ситцепечатной машине ту работу, для которой прежде требовалось 200 человек. Впоследствии производительность машин для окраски тканей еще более возросла.

Одновременно с системой машин для хлопчатобумажного производства создаются соответствующие машины для обработки шерсти, шелка, льна, джута и всех других видов текстильного сырья. Развитие текстильной и



Многовальцевая ситцевая машина (Англия, XIX в.)

ткацкой промышленности стимулирует механизацию вязального, кружевного, швейного производства. Появляются различные конструкции чулочно-вязальных машин: в 70—80-х годах распространяются высокопроизводительные коттон-машины, позволяющие вязать одновременно до 24 чулок со скоростью 80 петель в минуту.

Запросы развивавшегося рынка привели к колоссальному росту производства швейных машин. Фабрики швейных машин, появившиеся в 50—60-х годах («Gou», «Grower», «Willer and Wilson», «Singer», «Wilcocks Jibs» и др.), уже через 10—15 лет выпускали десятки тысяч таких машин. В конце 90-х годов один завод и фабрики фирмы «Singer» выпускали ежедневно свыше 600 тыс. швейных машин [9, 19, 20].

Весьма совершенная система машин, позволявшая значительно повысить степень непрерывности выполняемых технологических процессов, получила применение в бумажном производстве. Бумажная масса после обработки в специальной машине поднималась черпальным колесом на наклонную плоскость, служившую для задержания тяжелых частиц. Затем в механических устройствах масса обезжиривалась и формировалась бумажный лист, который многократно прожимался между валами, уплотнялся, а затем направлялся на сушильные барабаны. После этого лист пропускали между двумя гладкими барабанами, получая необходимый глянec; далее бумагу ложили и разрезали. Система технологических машин действовала непрерывно; она не нуждалась в помощи человека и выполняла возложенные на нее функции путем разделения работ на части и объединения всех частичных процессов в едином машинном комплексе. Таким образом, в системе машин бумажного производства был реализован принцип автоматизации технологических процессов.

Своеобразным было формирование и развитие системы машин в сельском хозяйстве. Как известно [21, гл. XVII], первые земледельческие машины появились в Англии, которая долгое время была страной наиболее развитой машинной техники; затем их применение началось в США, где обработка обширных малонаселенных участков земли была возможна только при условии хотя бы частичной механизации. В большинстве стран Европы машины в сельском хозяйстве начинают распространяться во второй четверти XIX в., в Германии — после революции 1848 г., в России их относительно широкое применение началось лишь с конца XIX в.

Потребности сельскохозяйственного производства вели к постепенному формированию системы машин, которые могли обеспечить механизацию основных процессов земледелия. Создание соответствующих технических средств шло в нескольких основных направлениях: 1) машины для обработки земли (плуги, бороны, культиваторы, катки, волюкушки, маркеры, окулиники, пропашники); 2) машины для посева (сеялки всех родов); 3) машины для уборки урожая (жатвенные машины, сенокосилки, механические грабли, свеклокопалки, картофелекопалки); 4) машины для обработки зерновых культур (молотилки, веялки, сортировки, сennые прессы), 5) самоходные машины, предназначенные для выполнения различных сельскохозяйственных операций (тракторы); 6) комбинированные машины для одновременного совмещения ряда производственных процессов (комбайны); 7) машины для подготовки кормов в животноводстве (мойки, соломорезки, корнерезки, зернодробилки, жмыходробилки, запарники).

В последней трети XIX в. наблюдалась дальнейшая эволюция плуга как основного почвообрабатывающего орудия. Его совершенствование шло по пути улучшения материала и конструкции плуга, а главное — способов его механического перемещения. В 70—80-х годах качественные плуги

начали изготавливать из специальной плужной стали, предложенной американцем В. Морисоном в 1863 г. Одновременно продолжают попытки применения парового двигателя вместо конной тяги, начатые еще в 50—60-х годах английскими фермерами Фаулером, Говардом и Савори. С 80-х годов паровой плуг стали довольно широко использовать в крупных помещичьих и капиталистических земледельческих хозяйствах.

Были разработаны две основные системы паровой пахоты: двух- и одномошинная. При двухмошинной системе работа выполнялась двумя самоходными локомотивами, которые располагались по двум противоположным сторонам обрабатываемого поля. Каждый из локомотивов был снабжен тягловым барабаном; плуг соединялся с барабанами проволоочным канатом. Локомотивы работали попеременно: пока один наматывал канат на свой барабан и таким образом перетягивал плуг к себе, другой локомотив не работал. При одномошинной системе плуг передвигался одним локомотивом, снабженным двумя барабанами. Плуг двигался между локомотивом и якорной тележкой, замещавшей второй локомотив и перемещавшейся по мере надобности тем же канатом — каждый раз на ширину пути, пройденного плугом. Несмотря на кажущуюся простоту такой одномошинной системы, двухмошинная пахота была значительно производительнее и потому имела большее распространение. Она позволяла увеличить дневную норму вспашки до 8—10 десятин, т. е. была в 4—5 раз больше, чем при конной пахоте. Благодаря увеличению глубины заправки средний урожай пшеницы на обработанных паровым плугом участках повышался на 20—25 %. В 80—90-х годах в сельском хозяйстве многих стран имелись плуги самых различных конструкций, приспособленные к специфическим условиям климата, почвы и зависящие от экономических требований. В эти же годы предпринимались попытки применить электрический плуг для вспашки земли, однако они особого успеха не имели.

Процесс сева начали механизировать с помощью так называемых гнездовых сеялок, которые позволяли высевать семена гнездами (кучно) на равных расстояниях. В 70-х годах имелись машины-сеялки различных конструкций. Большинство из них приводилось в движение лошадами, но в конце XIX в. в крупных хозяйствах Европы и Америки стали использовать сеялки с паровыми двигателями (сеялки Фаулера).

Жатвенные машины для механизации уборки зерновых культур хотя и появились в начале XIX в. (машины Генри, Белла и др.), однако длительное время распространения не получили из-за своего технического несовершенства. В дальнейшем разрабатываются конструкции вполне работоспособных жатвенных машин с усовершенствованным режущим аппаратом; принцип действия таких машин весьма близок к современным жаткам; они получают широкое распространение в сельском хозяйстве Европы и Америки. При этом в США использовались главным образом жнейки-самосборки, а в других странах — жнейки с ручным сбрасыванием снопов вилами или граблями (так называемые «лобогрейки»: их название прямо связано с трудоемкостью выполняемых операций). Дальнейшее усовершенствование машин для уборки зерна выразилось в присоединении к ним аппарата, связывающего снопы. В 1873 г. была выпущена снопоязалька В. Вуда, вяжущая снопы проволокой, в 1878 г. — снопоязалька Джонстона, вяжущая бечевкой. Снопоязальки позволяли

удобно собирать срезанный хлеб в снопы и перевязывать его с помощью вязального прибора. К началу XX в. заводы сельскохозяйственных машин в Чикаго выпустили около 5 млн. жаток, которые экспортировались во многие страны мира. В России нашла применение пароконная жатка конструкции механиков Лыжкова и Кауфгера; в довольно больших количествах такие жатки изготавливали в мастерских Вольного экономического общества в Петербурге. Однако, не имея достаточно крупных заводов сельскохозяйственного машиностроения, Россия не могла освоить массовое производство отечественных жатвенных машин.

Начало применения машин для обработки зерновых культур связано с использованием первых практически пригодных молотилок, снабженных барабанами со специальными билами. В дальнейшем появились конструкции молотилок, в которых зерна из колосов не выколачивались билами, а вычесывались зубчатыми трещеками, установленными на специальных штифтовых или клинцовых барабанах. Молотилки сначала приводились в движение вручную; с 60—70-х годов начинает внедряться паровая молотилка. Конструкция молотилок значительно усложняется. В конце XIX в. в сельском хозяйстве использовались три типа молотилок: простые — в которых, кроме молотильного барабана, установлены соломотряс и грохот; полусложные — снабженные веялкой; сложные — имеющие, помимо веялки, дополнительные механические устройства для окончательной очистки и сортировки зерна. Привод молотилки мог быть либо паровым автономным, либо от локомотива.

Принципиально новой машиной для сельскохозяйственного производства, позволявшей во многом изменить и преобразовать традиционные процессы земледелия, стал трактор. Мысль о создании самодвижущего агрегата для обработки земли, высказанная еще Дж. Уаттом, была в весьма несовершенном виде осуществлена в паровых локомотивах, использовавшихся для вспашки земли с помощью канатных систем. С введением непосредственного соединения машины с плугом локомотивно-канатные системы постепенно вытесняются из сельского хозяйства, уступая место тракторам. Первый гусеничный трактор с двумя паровыми машинами был построен и в 1888 г. испытан русским изобретателем Ф. А. Блиновым. С 1890 г. в США, а затем и в других странах началось применение паровых тракторов. Однако большой вес (250—300 кг на 1 л. с. мощности), громоздкость конструкции (диаметр ведущих колес доходил до 2,5 м) и высокая стоимость обусловили ограниченное применение этих машин в сельском хозяйстве.

Идея построить трактор с двигателем внутреннего сгорания принадлежит американским изобретателям Харту и Парру, предложившим проект такой машины в 1896 г. Через несколько лет, в 1901 г., были построены несколько первых колесных тракторов, названных по имени изобретателей «Харт — Парр». После длительных экспериментов и технической доработки тракторы на колесном ходу с 1907 г. получают практическое применение в сельском хозяйстве. Серийное изготовление гусеничных тракторов впервые осуществила американская фирма «Холт» в 1912 г. Использование гусениц в качестве ведущего двигателя позволило уменьшить удельные нагрузки и повысить сцепление машины с почвой.

Первые колесные и гусеничные тракторы с двигателями внутреннего сгорания имели довольно большую мощность (60—80 л. с.), так как главным их назначением было перемещение многокорпусных плугов для вспашки земли. С 1913—1915 гг. начался также выпуск тракторов малой мощности (16—25 л. с.), которые были более удобными благодаря своей маневренности и пригодности для многих сельскохозяйственных работ, а также для транспортировки. Очень важно было оборудовать трактор специальными шкивом для отбора мощности. Так, гусеничный трактор «Клетрас», имея мотор мощностью 24 л. с., позволял приводить от своего шкива молотилку, мельницу, лесопильную раму и т. д. На крюке этот трактор развивал мощность в 12 л. с. для работы с плугами, сойкаками, жатвенными машинами. Большую известность получили колесные тракторы заводов Г. Форда («Фордзон») мощностью 18 л. с. на шкиве и 12 л. с. на крюке.

О том, как быстро росло производство тракторов, можно судить по данным об их выпуске в США: если в 1915 г. все американские фирмы («Мас-Сормик», «Голт», «Форд» и др.) изготовили около 20 тыс. тракторов, то в 1918 г. их выпуск превысил уже 133 тыс. штук. Тракторы получают всеобщее распространение в сельском хозяйстве США, Англии, Франции, Германии и других стран.

В первых десятилетиях нашего века начинается производство еще одной важнейшей сельскохозяйственной машины — комбайна. Это комбинированная машина для одновременного совмещения ряда процессов обработки зерновых культур: предшествующим комбайна была сложная молотилка. Первые работоспособные конструкции комбайнов, изготовленные в 1905—1915 гг., производили жатву, обмолаот и очистку зерна. Несовершенство механизмов и частые поломки сдерживали развитие комбайностроения; в 1914 г. общий выпуск американских комбайнов составил 270 штук, в дальнейшем производство комбинированных машин возрастает, достигнув в 1920 г. уже 3227 штук.

Несмотря на технический прогресс сельскохозяйственного машиностроения, обеспечившего развитие системы земледельческих машин, в целом оснащение сельского хозяйства машинной техникой при капитализме неизбежно отстает от промышленности. Если паровой двигатель привел к коренным техническим преобразованиям в промышленности, то в сельском хозяйстве он нашел довольно ограниченное применение (главным образом в паровых плугах и молотилках). Электрический привод в сельском хозяйстве в рассматриваемый период использовался редко, в основном для вспомогательных целей. Применение двигателей внутреннего сгорания в сельском хозяйстве намного запаздало по сравнению с промышленностью и транспортом. Конечно, крупные капиталистические предприятия применяют машинную технику в больших масштабах, но масса мелких сельских производителей оказывается не в состоянии использовать технические нововведения и покупать дорогостоящие сельскохозяйственные машины. Поэтому при капитализме нигде не сохраняется столько первобытных приемов труда, как в земледелии. Машинная техника здесь повсеместно сосуществует с ручной и по временам даже вытесняется ею. «Земледелие отстает в своем развитии от промышленности — явление, свойственное всем капиталистическим странам и составляющее одну из наиболее глубоких причин нарушения пропор-

циональности между разными отраслями народного хозяйства, кризисов и дороговизны»<sup>5</sup>.

В период интенсивного развития промышленности и транспорта, ускоренного роста городов и создания новых промышленных центров резко возрастает потребность в продукции тех отраслей, которые перерабатывают продукты сельского хозяйства, — мукомольной, хлебоубоудной, масложировой, сахарной, мясной, молочной, вино-водочной, табачной промышленности. Если в предшествующие исторические периоды сельскохозяйственная продукция перерабатывалась в примитивных условиях мелкотоварного хозяйства и это в достаточной мере обеспечивало запросы небольших городов и селений, то в последней трети XIX в. положение коренным образом изменилось. Рост производства продуктов в больших масштабах был невозможен без создания специализированных перерабатывающих отраслей промышленности, их серьезного технического оснащения, создания многочисленных рабочих машин. Лишь объединение этих машин в заданной технологической последовательности могло обеспечить массовый выпуск продукции.

Формирование и развитие системы машин в перерабатывающих отраслях производства происходило еще в середине XIX в., но особенно ускорилось в 70—90-х годах, когда выпуск такой продукции, как мука, сахар, масло, мясо, табак, начал исчисляться в сотнях тысяч и миллионах тонн. Рассмотрим, к примеру, как осуществлялись производственные процессы в системе машин и аппаратов сахарной промышленности. Поступавшие на сахарные заводы свекловичные корни после предварительной очистки направляли в моечные машины. Тщательно обмытые корни ковшевым элеватором подавали к резательной машине, откуда нарезовые свекловичные пластинки по конвейеру поступали в диффузоры, где извлекали сок. Полученный сок фильтровали и заливали в специальные котлы, в которых осуществлялись процессы дефекации и сатурации, т. е. очистки и обработки с помощью извести и угольной кислоты. Очищенный сок выпаривали, снова фильтровали и направляли в уварочные аппараты, где он превращался в густую массу, а затем поступал для окончательной концентрации в вакуум-аппараты, после чего застывал в виде кристаллической массы в особых сосудах. Окончательное размешивание и получение готовых кристаллов сахара проводили на центрифугах. В конце процесса сахар снова очищали, подвергали механическому контролю, взвешивали и упаковывали.

Высокопроизводительная система машин получила применение в табачном производстве. Увлажненные табачные листья поступали в сортировку, где их распределяли по качеству листьев и сортировали в отдельные смеси; после этого табак направляли в крошительные станки для резки на тонкие волокна шириной от 0,2 до 1 мм. Затем по ленточному конвейеру табачные волокна поступали к вращающимся рифленным валам, которые прессовали табак и подавали его к резательной машине, отсекавшей слои спрессованного табака необходимой ширины. Следующими по ходу технологического процесса были раструсочные машины, где спрессованную крошку еще раз перетягивали, перемешивали и одновременно при помощи теплой вентиляции просушивали до влажности

<sup>5</sup> Ленин В. И. Полн. собр. соч., т. 27, с. 219.

не более 15—20%. После раструски табак поступал в упаковочные машины, где его укладывали в жестяные коробки или в бумажные и картонные бандероли. Для производства папирос использовали гильзы, которые в тысячах и миллионах штук вырабатывались особыми гильзомундштучными машинами. Гильзы и крошенный табак подавали в папироснобальные машины, которые металлическими шомполами проталкивали табак в гильзы, обжимали готовые папиросы и укладывали их в сушильные коробки. После просушки папиросы конвейерными установками подавались к укладочным машинам, которые распределяли их по пачкам соответствующей марки. Затем пачки запечатывали, собирали в пакеты по 10—20 или 30 штук и раскладывали в ящики.

Разнообразные системы машин и аппаратов обеспечили огромный рост выпуска продукции на мукомольных и хлебопекарных заводах, маслобойных, мясоперерабатывающих, молочных, пивоваренных, спиртоводочных и других предприятиях перерабатывающей промышленности. Так, на чикагских бойнях в США благодаря механизации операций забоя скота, конвейеризации процессов очистки, обработки и разделки туш суточная производительность была доведена до десятков тысяч голов скота. Таким образом, перерабатывающие отрасли промышленности, используя в качестве предметов труда продукцию сельскохозяйственного производства, а в качестве орудий труда — системы машин, механизмов и аппаратов, смогли уже к концу XIX в. осуществить массовый выпуск готовой продукции.

## 6. ЗАРОЖДЕНИЕ МАССОВОГО ПОТОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА В МАШИНОСТРОЕНИИ

Одной из существенных особенностей развития производства в начале XX в. явился переход к массовому специализированному производству, связанному с выпуском однотипной стандартной продукции во многих тысячах и даже миллионах экземпляров. Наиболее важным по своим последствиям было освоение массового выпуска продукции в машиностроении — в производстве машин машинами. Именно это создавало материальные предпосылки дальнейшего развития механизации в промышленности, строительстве, транспорте, сельском хозяйстве.

Переход к массовому производству в машиностроении был подготовлен формированием и развитием разветвленной системы машин. Он стал возможным на основе глубокой специализации металлообрабатывающего оборудования, расширения типажа и номенклатуры металлорезающих станков, перевода их на индивидуальный электропривод. Массовое производство в машиностроении было обеспечено колоссальным повышением производительности станочного парка, широким использованием принципов взаимозаменяемости и новых методов организации машиностроительного производства. Вместе с тем в течение XIX столетия машиностроение и металлообработка накопили довольно большой опыт изготовления крупных партий различных деталей, инструментов, приспособлений (в частности, крепежных изделий — болтов, винтов, гаек, а также различных блоков, подшипников, режущего и слесарного инструмента и т. д.).

Совершенно особую, во многом определяющую роль в техническом прогрессе машиностроения, в утверждении в нем технологических и организационных принципов массового производства сыграло становление и развитие автомобилестроения — наиболее сложного и массового производства транспортных машин.

Конечно, некоторые принципы массового выпуска изделий в машиностроении были заложены уже в 60—70-х годах, когда осваивалось производство швейных машин, некоторых видов военной техники (в частности, стрелкового вооружения, боеприпасов) и ряда других изделий. Однако это была продукция не слишком большой сложности: каждое готовое изделие состояло из нескольких, максимум — из нескольких десятков деталей. Иное дело в автомобилестроении. Здесь каждая машина представляет собой сложный механический комплекс, состоящий уже не из десятков, а из многих тысяч разнообразных деталей. Это потребовало создания новых видов станочного оборудования, кузнечно-прессовых и литейных машин, нового инструмента, термических установок, специальных сборнозаводских и внутрицеховых транспортных систем, новых методов внеочередных работ, новых форм организации и управления производством.

Характерной особенностью массового производства в машиностроении, его необходимым условием явился организация поточного производства, при котором изготовление и сборка изделий осуществляются в поточных линиях, представляющих собой совокупность рабочих машин в рабочих мест, расположенных по ходу технологического процесса изготовления изделий. За каждым станком или рабочим местом в поточной линии закреплены одна или несколько аналогичных операций обработки одного либо нескольких изделий, изготавливаемых одновременно или попеременно; это требует высокопроизводительного специализированного оборудования, обеспечивающего повышение производительности труда и высокое качество работы.

В развитом поточном производстве обрабатываемые изделия передаются на следующую операцию немедленно после выполнения предыдущей. Этому способствуют межоперационные транспортные устройства (рольганги, склпы и т. п.), а в наиболее механизированных производствах — конвейерные системы изготовления и сборки изделий. Обеспечивается равномерный ход производственного процесса, ритмичный выпуск продукции, высокая производительность труда, снижение себестоимости изготавливаемых изделий. Высшей стадией развития поточного производства является комплексная механизация и автоматизация всего технологического процесса.

Особенности зарождения и развития поточного производства в автомобилестроении рассматриваются в гл. VIII. Здесь же отметим, что типичный поточный производств известный американский предприниматель Г. Форд, применив на своем заводе конвейеры для механизации внутризаводского транспорта при сборке автомобилей, добился большого повышения производительности труда (в то время выпускаемые Г. Фордом автомашины состояли приблизительно из 5 тысяч частей). Основой нового метода было использование системы машин, обеспечивавшей все большую степень непрерывности производства. Главная идея нового принципа организации работ состояла в том, что все детали доставляли непо-

средственно к рабочим местам, а рабочие должны были выполнять одну и ту же операцию, используя одно и то же движение.

Создание так называемого «сборочного пути» и усовершенствование принципа потока привели к значительному росту производительности труда. Так, если вначале на сборку магнето один рабочий затрачивал 30 мин, то после расчленения этого процесса на 29 операций время сборки сократилось до 13 мин. Расчленение сборки двигателя на 48 отдельных операций повысило производительность труда в три раза. Аналогичные результаты были достигнуты при сборке шасси, кузова и т. п.

Применение конвейеров с изнуряющим принудительным ритмом изматывало рабочих, истощало их жизненные силы; оно представляло собой наиболее резкую форму наступления капитала на рабочий класс [22, 23].

Подобные же методы максимального ускорения производственных процессов лежали в основе системы организации труда, разработанной в США Ф. Тейлором и изложенной в его книгах «Научные основы организации промышленных предприятий» и «Административно-техническая организация промышленных предприятий» (1909—1915 гг.). Давая характеристику тейлоровской «научной системы» выжимания пота, В. И. Ленин подчеркивал, что она соединяет в себе зверство буржуазной эксплуатации и ряд крупных научных завоеваний в деле анализа трудовых процессов, улучшения организации производства, систем учета, контроля и т. д. Критикуя тейлоризм, В. И. Ленин в то же время отмечал, что эта система поточного производства должна быть тщательно изучена и из нее необходимо взять все прогрессивное и рациональное <sup>6</sup>.

## 7. СТАНОВЛЕНИЕ НАУЧНЫХ ОСНОВ МАШИНОВЕДЕНИЯ

Всемирные промышленные выставки, организованные в 60—80-х годах XIX в., продемонстрировали заметный прогресс мирового машиностроения. Число машин в различных областях производства из года в год увеличивалось. Возрастали и потребности создателей машин в научном осмыслении и обосновании опыта проектирования машин, в разработке методов их расчета и изготовления.

Механика машин, бывшая до середины XIX в. в основном наукой описательной, начинает пользоваться аналитическими, графическими и экспериментальными методами исследований. Происходит первоначальная дифференциация теории машин: из нее выделяются описательное машиноведение, теория паровой машины, некоторые ответвления науки о машинах различных производств, в частности о транспортных машинах; к концу столетия оформляется в самостоятельное научное направление учение о деталях машин.

Усложняется и расчленяется теория механизмов, выделяются кинематика механизмов, кинематическая геометрия; самостоятельное значение получает теория шарнирных механизмов, начинается разрабатываться учение о структуре механизмов. В связи с растущим применением передач в машинах развивается теория зубчатых зацеплений, появляются приближенные методы расчета ременных и цепных передач. В динамике

машин к началу XX в. самостоятельное значение приобретает теория трения и теория автоматического регулирования.

Естественно, что в период, когда техника развивалась в основном на базе эмпирических поисков, наука о машинах следовала за развитием машин и лишь в отдельных случаях могла опережать те или иные технические достижения. Поэтому не приходится удивляться разноречию не только теоретических положений, но и определений, терминологии, классификации и т. п. в XIX в. [9, 24—26].

Исключительно важный вклад в изучение машин, в выяснение их роли и значения в общественном производстве внесли К. Маркс и Ф. Энгельс. Именно К. Марксу принадлежит строго научное и всестороннее определение машин, данное им в 13-й главе «Капитала»: «Всякое развитое машинное устройство состоит из трех существенно различных частей: машины-двигателя, передаточного механизма, наконец машины-орудия, или рабочей машины. Машина-двигатель действует как движущая сила всего механизма. Она или сама порождает свою двигательную силу, как паровая машина, kalorическая машина, электромагнитная машина и т. д., или же получает импульс извне, от какой-либо готовой силы природы, как водяное колесо от падающей воды, крыло ветрила от ветра и т. д. Передаточный механизм, состоящий из маховых колес, подвижных валов, шестерен, эксцентриков, стержней, передаточных лент, ремней, промежуточных приспособлений и принадлежностей самого различного рода, регулирует движение, изменяет, если это необходимо, его форму, например превращает из перпендикулярного в круговое, распределяет его и переносит на рабочие машины. Обе эти части механизма существуют только затем, чтобы сообщить движение машине-орудию, благодаря чему она захватывает предмет труда и целесообразно изменяет его»<sup>7</sup>. Марксистский анализ технических, экономических и социальных аспектов машинного производства явился действенным и мощным стимулом для изучения проблем машинной техники, расширения и углубления исследовательских работ, возникновения науки о машинах.

В ходе развития машинного производства машиноведение становилось все более важным, а в некоторых случаях определяющим фактором технического прогресса машиностроения. Значительная роль принадлежала тем широким научным поискам и многочисленным исследованиям, которые были начаты в последней трети XIX в. и развиты в первые десятилетия XX в. [24, 26, 27].

Наиболее существенный вклад в науку о машинах внесли ученые и инженеры, имевшие большой практический опыт и преподававшие в университетах, технических институтах, колледжах, военных училищах. Среди них — видные французские ученые: Ш. Лабуле, который издал обстоятельный «Курс кинематики или теории механизмов», выдержавший в 70—80-х годах три издания; Ж. Б. Беланже, написавший «Курс кинематики», Г. Гушьер, подготовивший первый университетский учебник «Курс механизмов» и специальную монографию «Теоретический и практический курс о зацеплениях», посвященный зубчатым передачам в машинах; профессор А. Резаль, выпустивший «Трактат чистой кинематики»; профессор А. Маннгейм, оформивший кинематическую геометрию в са-

<sup>6</sup> См.: Там же, т. 36, с. 189—190, 212, 279.

<sup>7</sup> Маркс К., Энгельс Ф. Соч., т. 23, с. 384.

мостоятельное научное направление. В этой же области успешно работали видный бельгийский ученый Ф. Жильбер и один из основоположников статистической кинематики, американский ученый В. Гиббе.

В Англии наибольшую роль в развитии кинематики машин на рубеже XIX—XX вв. сыграли работы А. Кейли, Д. Сильвестра и особенно А. Кеннеди, создавшего первый английский учебник по механике машин.

Значительный вклад в развитие учения о машинах внес знаменитый немецкий машиновед Ф. Рело. Им были исследованы и сформулированы многие понятия в теории машин и механизмов, предложены принципы классификации, изучена история машин. К работам Рело примыкают исследования других немецких ученых: Ф. Грасгофа, выступившего в период 1870—1890 гг. три тома «Теоретического машиностроения», и Л. Бурместера, создавшего известный «Учебник кинематики» (1888 г.), в котором впервые для исследования механизмов были применены методы кинематической геометрии.

Многим обязана наука о машинах крупнейшему русскому ученому, профессору Петербургского университета П. Л. Чебышеву. Он первый применил в механике машин математические методы и преобразовал ее из науки описательной в науку расчетную. Главным направлением работ Чебышева в области кинематики было создание им теории шарнирных механизмов, сыгравшей впоследствии крупную роль в развитии теории машин. Решение Чебышевым многих задач по регуляторам, парораспределению, прессам, счетным машинам, весам и т. д. послужило и развитию теории, и непосредственной практике машиностроения. Достаточно сказать, что регуляторы Чебышева удостоились золотых медалей Всероссийской выставки (1870 г.), Всемирных выставок в Вене (1873 г.), Филадельфии (1876 г.) и Париже (1878 г.).

Продолжателями работ Чебышева были его ученики и последователи — П. О. Сомов, успешно разрабатывавший теорию структуры механизмов и их классификацию; Н. Б. Делоне, выступивший «Лекции по практической механике»; В. И. Липин, издавший впервые в России монографию «Кинематика»; Х. И. Гохман, написавший «Кинематику машин».

Видным ученым-машиноведом был профессор И. А. Вышнеградский, плодотворно работавший в 60—80-х годах в области практического машиностроения, динамики машин, расчета и проектирования подъемных машин; им же были заложены основы теории автоматического регулирования. Огромной заслугой Вышнеградского явилось введение в учебных заведениях России преподавания машиностроительных дисциплин, подготовка инженерных кадров для производства машин на отечественных заводах. «И. А. Вышнеградский образовал несколько поколений механиков и строителей машин», — писал проф. В. Л. Кирпичев. — Ученики его теперь рассеяны по всему лицу нашего обширного отечества и, пользуясь сообщенными им знаниями, успешно работают теоретически и практически на поприще машиностроения. С тех пор оно стало у нас туземным делом... Это один из лучших примеров того огромного значения, которое могут представлять учитель и школа для действительной жизни» [28, с. 15].

В последней четверти XIX в. получают развитие динамика машин, связанная, как правило, с исследованием паровых машин и кривошипно-шатунных механизмов. В этот период появляется монография австрий-

ского ученого И. Радингера «О паровых машинах с высокой скоростью поршня» и книга немецкого ученого Р. Прелля «Опыт графической динамики», в которой впервые были поставлены многие вопросы динамики механизмов, получившие свое дальнейшее развитие в конце прошлого и первой четверти нынешнего века. В 80—90-х годах немецкий профессор М. Рюльман опубликовал крупное энциклопедическое сочинение — «Общее машиноведение» в четырех томах; эта работа содержала многие исторические экскурсы и обобщала мировой опыт создания энергетических и технологических машин.

На рубеже XIX и XX вв. и в первые десятилетия XX в. наибольший вклад в науку о машинах вносят ученые Германии и России. В 1900 г. выходит в свет второй том «Теоретической кинематики» Ф. Рело, послуживший как бы катализатором многих работ в области механики машин. Интересные исследования в этом направлении выполнили Р. Мюллер, О. Мор, Л. Бурместер. Крупными достижениями ознаменована деятельность видного немецкого ученого, профессора Ф. Виттенбауэра, создавшего систему графических методов исследования динамики механизмов и машин. Изданная Виттенбауэром «Графическая динамика» явилась синтетическим трудом, в котором на основе многих обобщений излагались методы кинестатического и динамического расчета механизмов, ставились некоторые проблемы механики машин.

Весьма широкой и плодотворной была на рубеже столетий деятельность русской школы механики машин. Россия, в целом значительно уступавшая в промышленном развитии главным капиталистическим странам мира, имела ряд солидных технических школ. Многие русские профессора сочетали работу в университетах с преподаванием в технических вузах.

Проблемы механики машин, расчета и проектирования транспортных, подъемных, горных, сельскохозяйственных машин нашли широкое отражение в работах Н. Е. Жуковского, Н. И. Мерцалова, П. К. Худякова, А. И. Сидорова, В. П. Горякина, Л. В. Ассура, В. И. Гриневцова, Д. С. Зернова и др. Профессор Н. Е. Жуковский, работы которого по аэродинамике принесли ему мировую славу, был крупнейшим исследователем в области теории механизмов и машин, выдающимся педагогом и популярным автором идей механики машин. Широко известность получили его работы «Распределение давлений на нарезке вилта и гайки», «О скольжении ремня на шкивах», «О трении в машинах» и др. Курс прикладной механики, прочитанный Н. Е. Жуковским в Московской практической академии коммерческих наук, был впервые издан в 1901 г. В 1909 г. выпущен специальный курс регулирования машин, прочитанный Жуковским в МВТУ; в курсе были две обширные части: статика и динамика регулятора. Работы Н. Е. Жуковского на много лет сохранили свое непреходящее теоретическое и практическое значение; не удивительно, что они многократно переиздавались [29].

Капитальным трудом «Динамика механизмов» обогатил науку о машинах проф. Н. И. Мерцалов. Создателем классической теории структуры и классификации механизмов был ученик Жуковского Л. В. Ассур. Новый оригинальный курс «Элементы машиноведения» основал в начале 900-х годов профессор МВТУ А. И. Сидоров. Его курс представлял собой своеобразную энциклопедию по машиноведению; здесь были заложены

научные основы теории механизмов и машин, общего машиноведения, принципы расчета и проектирования деталей машин и самих машин. Наряду с известным немецким ученым К. Бахом, издавшим курс «Детали машин», проф. А. И. Сидоров явился создателем отечественной школы расчета и проектирования деталей и узлов машин. Ему принадлежат также интересные «Очерки по истории техники» [30].

Проблемы трения в машинах и создания высокоэффективных способов жидкостной смазки успешно разрабатывал профессор Н. П. Петров — один из основателей гидродинамической теории трения. Он впервые дал сложным явлениям трения математическую интерпретацию, создал методы их точного измерения и регулирования, ввел в практику машиностроения многие ранее неизвестные коэффициенты трения, разработал правила изготовления смазок для узлов машин.

Особое значение для становления науки о машинах имели труды профессора В. П. Горячкина. Дело в том, что на протяжении длительного периода развития машиностроения учение о рабочих, или технологических, машинах выпало из поля зрения машиноведов; им занимались, как правило, технологи, и сводилось оно в основном к описательным курсам. Базой для создания теории технологических машин В. П. Горячкин избрал парк сельскохозяйственных машин, достаточно большой и разнообразный в то время. В период 1909—1914 гг. опубликованы такие труды В. П. Горячкина, как «Теория жатвенных машин», «Теория барабана», «Зерносушилки», «Веялки и сортировки», «Силы инерции и их уравнивание». В 1919 г. издана монография «Земледельческая механика», ставшая первым в технической литературе трудом, где обобщены вопросы теории рабочих машин. Идеи проф. В. П. Горячкина, развитые в послевоенное время, внесли большой вклад в советскую науку о машинах.

## ОТ ПАРА К ЭЛЕКТРИЧЕСТВУ

## 1. КРИЗИС ПАРОВОЙ ТЕХНИКИ

Бурное развитие капитализма во второй половине XIX в. во всех развитых странах вызвало полный технический переворот в промышленности и быстрый прогресс машинного производства. На определенном историческом этапе развития система машин, состоявшая из универсального парового двигателя, рабочих машин и передаточных механизмов, стала господствующей формой капиталистического производства.

На протяжении всего XIX в. продолжалось усовершенствование паровой машины. С 1800 г., когда окончилось действие патентов Уатта, конструкторы различных стран особенно активно включились в работу по улучшению технических показателей паросиловых установок с поршневым паровым двигателем. Хотя основные конструктивные детали паровой машины и термодинамические основы ее работы оставались неизменными, произошло качественное изменение паровой техники, выразившееся в повышении показателей интенсивности: возросли давление и перегрев пара, число оборотов, удельные тепловые и силовые нагрузки и т. д. Использование перегрева пара, начатое еще в 60-х годах, особенно широко распространилось в 90-х годах. Появление быстроходных технологических машин и двигателей транспортных средств потребовало увеличения КПД паровых машин. Большое внимание постоянно уделялось также системам парораспределения, благодаря чему появились технические совершенные устройства. Этому в значительной мере способствовали разработки американского инженера Джорджа Корлиса. Регулирование в его конструкциях сочеталось с небольшим расходом пара и дало основу для изготовления машин большой мощности. На Филадельфийской выставке 1876 г. экспонировалась балансирующая машина Корлиса мощностью 2500 л. с. и скоростью вращения 36 об/мин. Однако парораспределительные краны в его машинах не могли работать при перегретом паре, а балансиры — при большом числе оборотов и потому не могли следовать за основной тенденцией развития паротехники последней четверти XIX в. Дальнейшее развитие паровых поршневых двигателей пошло по пути создания многоцилиндровых конструкций с многократным расширением пара; это привело к повышению КПД в результате использования высокого перепада давлений и уменьшения теплообмена между паром и стенками рабочих цилиндров. В 90-х годах появились машины с двух-, трех- и четырехкратным расширением пара. Благодаря многим техническим усовершенствованиям к концу XIX в. термический КПД паровых машин возрос в 5 раз [1, с. 13—14]. Паровая машина как универсальный двигатель крупной машинной индустрии, транспорта и в известной степени сельского хозяйства (локомотивы) занимала все более прочные позиции вплоть до 70—80-х годов.



Вместе с расширением машинного способа производства во второй половине XIX в. поступательно развивалась теплоэнергетика в целом. В этот период создавались достаточно экономичные и надежные парогенераторы, которые удовлетворяли потребности стационарной и транспортной энергетики. В развитии котлостроения явно обнаружилась тенденция к повышению давления пара и росту производительности. Постепенно вырабатывалась наиболее рациональная конструкция с делением газового тракта и водяного объема котла на большое число труб малого диаметра. В результате сложились два основных вида парогенераторов: газо- и водотрубные. Газотрубные котлы наибольшее признание нашли в судовых, локомотивных и локомобильных установках; водотрубные — в стационарных установках, в том числе на первых тепловых электростанциях. В 60—70-х годах возникли двухкамерные водотрубные котлы, в конце XIX в. — секционные [2, с. 284]. Двухкамерные котлы, отличающиеся лишь некоторыми деталями, изготавливали с давлением в пределах 3—8 ат западноевропейские заводы. Типичной конструкцией двухкамерных котлов был котел Штейнмюллера, выпускавшийся в Германии.

Повышение давления пара привело к необходимости разделения камер на секции (котлы «Babcock and Wilcox», Шухова, Бельвиля и др.). Особенно высококачественными секционными водотрубными котлами были котлы фирмы «Babcock and Wilcox» и конструкции В. Г. Шухова. Зпатентованный в 1896 г. котел Шухова, отличавшийся невысокой стоимостью, малой металлоемкостью и легкой транспортабельностью, получил распространение главным образом в России.

К концу прошлого века относится также появление вертикально-водотрубных котлов с прямыми и изогнутыми трубками, вальцованными непосредственно в барабан. Характерным примером стационарного вертикального котла может служить четырехтрубный котел конструкции американца Стирлинга (1894 г.). Благодаря конструкции, позволявшей компоновать три, четыре, пять и шесть барабанов, он получил широкое распространение. Одновременно с котлом Стирлинга использовали многобарабанный котел Гарбе (Германия), также допускавший различные компоновки барабанов.

К концу XIX в. в водотрубных паровых котлах была достигнута относительно высокая паропроизводительность: отдельные конструкции позволяли получать суммарную поверхность нагрева свыше 500 м<sup>2</sup> с суммарной паропроизводительностью более 20 т/ч [3, с. 361—369].

С укрупнением промышленных предприятий, с увеличением веса и габаритов обрабатываемых материалов и полуфабрикатов возросли требования к энергетической базе промышленности, существенно увеличился расход энергии отдельными предприятиями, возникла все большая необходимость в привлечении мощных двигателей. Постепенно рост мощности теплосиловых установок перестал сопровождаться пропорциональным увеличением количества выработанной продукции или снижением ее себестоимости. Это обстоятельство было вызвано увеличением непроизводительных расходов на доставку топлива от места его природного расположения к силовым установкам и увеличивающимся потерями на передачу и распределение механической энергии от паровой машины к машинам-орудиям. Главным недостатком парового двигателя становилась трудность передачи и «дробления» получаемой от него энергии.

Энергия передавалась в основном по трансмиссиям, обеспечивающим вращательное движение рабочих машин. Во второй половине XIX в. усилились поиски рациональных конструкций всех звеньев передаточных устройств; под влиянием запросов практики разрабатывались теоретические основы механических передач [4].

Несмотря на совершенствование в конструкциях каждого из отдельных узлов трансмиссии, доля мощности на преодоление потерь энергии росла, а общий коэффициент полезного действия неуклонно снижался. Поскольку потери резко возрастали вместе с увеличением количества передаваемой энергии и расстояний ее передачи, то ограничивалась мощность отдельных силовых установок и, как следствие, затруднялась концентрация производства. В условиях непрерывно развивающейся крупной промышленности это было существенным недостатком паровой энергетики, приводившим ее в состояние кризиса [5].

Другой недостаток парового привода был связан с невозможностью перехода при его использовании к прогрессивным формам организации промышленности, чего настоятельно требовала все большая механизация производственных процессов и рост числа машин. В 90-х годах стала отчетливо проявляться тенденция поточного производства как наиболее экономичная форма организации труда при массовом использовании машин. Трансмиссионная система механического распределения энергии исключала возможность налаживания поточного производства. Значительно реже применяли индивидуальный привод механизмов от мелких паровых машин, но этому виду механизации препятствовала нерентабельность небольших теплосиловых установок.

Недостатки парового привода с механическим распределением энергии тормозили концентрацию и интенсификацию промышленного производства. Появились двигатели внутреннего сгорания, но их доля в общем энергетическом балансе мира не была еще ощутимой. Таким образом, в последней трети XIX в. энергетическая техника переживала глубокий кризис, и в этот период стал зарождаться электрический способ передачи и распределения механической энергии.

## 2. НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ СОЗДАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

Развитие знаний об электричестве и магнетизме представляет собой яркий пример в истории науки, когда чисто научный комплекс опытов перерастает в самостоятельную, крупную отрасль техники и промышленности. Зарождению практической электротехники в первой половине XIX в. предшествовали открытия, доказывающие взаимопревращение различных видов энергии: тепловой и механической, электрической и тепловой, электрической и химической.

20-е и 30-е годы XIX в. ознаменовались замечательными научными открытиями, приведшими, с одной стороны, к установлению связи между электричеством и магнетизмом, а с другой — к выяснению возможности превращения электрической энергии в механическую. Толчком, возбуждавшим интерес ученых к электромагнетизму, послужило наблюдение, сделанное летом 1820 г. датским физиком Х. К. Эрстедом: отклонение

магнитной стрелки при приближении ее к проводнику с электрическим током. После открытия Эрстеда многие ученые обратились к исследованию нового явления. В сентябре 1820 г. французский физик Д. Ф. Араго обнаружил неизвестное до тех пор явление намагничивания проводника при протекании по нему тока, а также намагничивание железных опилок электрическим током. Опыты Эрстеда привлекли внимание и другого выдающегося французского ученого, А. М. Ампера, который, изучив влияние тока на магнитную стрелку, вывел правило, определяющее ее отклонение в зависимости от направления тока («Правило пловца», 1820 г.). Он исследовал взаимодействие между линейными проводниками, обтекаемыми током, и между токами и магнитами. В обоих случаях протекание тока вызывало механическое перемещение проводников, Ампер установил законы механического взаимодействия электрических токов и заложил фундамент нового раздела в учении об электричестве — электродинамики. Важное значение имело затем выведенное французскими учеными Ж. Б. Био, Ф. Саваром и П. С. Лапласом математическое выражение силы взаимодействия тока и магнита.

Следующим крупным шагом вперед на пути изучения механических взаимодействий токов и магнитов явились опыты М. Фарадея. В 1821 г. он наблюдал самопроизвольное вращение магнита вокруг прямого пропущенного через него провода с током вокруг магнита [6]. Лабораторные опыты Фарадея, демонстрировавшие непрерывное преобразование электрической энергии в механическую, были первым прообразом электрического двигателя.

Исходя из того, что протекание электрического тока всегда сопровождается магнитными явлениями, Фарадей предугадал и возможность превращения магнетизма в электричество. В 1831 г. он показал, что электрический ток возникает как в неподвижном проводнике, находящемся в переменном магнитном поле, так и в проводнике, который сам перемещается в неизменном магнитном поле. Поглощающая это явление, названное позднее электромагнитной индукцией, наблюдал американский физик Д. Генри. Два выдающихся ученых на разных континентах независимо друг от друга почти одновременно пришли к одному и тому же выводу.

В изучение электромагнитной индукции большой вклад внесли исследования русского физика Э. Х. Ленца. В 1833 г. он сформулировал универсальное правило для определения направления индуцированных токов (закон Ленца), выразившее, по существу, принцип обратимости электрических машин [7]. Более определенно этот принцип был высказан Ленцем в 1838 г. В том же году он впервые показал, что магнитное электричество может работать и как двигатель. Этот опыт намагничивания последующей демонстрации обратимости электрических машин: на 22 года демонстрацию итальянского физика А. Пачинотти и на звание принципа обратимости не прибегали, и вплоть до 70-х годов прошлого века развитие электрических генераторов и разработка двигателей шли самостоятельными путями.

Исследования в области электромагнетизма непосредственно предшествовали созданию электрических машин. Вслед за открытием Фарадея в 1821 г. взаимного вращения магнитов и проводников были созданы первые конструкции электрических двигателей. В 1824 г. английский физик

П. Барлоу и в том же году Ф. Араго построили лабораторные приборы для демонстрации эффекта электромагнитного вращающегося магнита. В 1827—1828 гг. венгерский учитель физики А. Йедлик создал электромагнитный двигатель вращательного движения [8, с. 51]. В 1833 г. английский ученый В. Риччи для иллюстрации свойств постоянных магнитов создал конструкцию, в которой якорь вращался с помощью магнита [9, с. 10—13].

Принципиально отличное конструктивное воплощение идеи использования электромагнитных воздействий для механических перемещений нашло в двигателях физиков Д. Генри (США) и Сальваторе дель Negro (Италия). В 1831 г. они создали электромагнитные приборы с качательным движением якоря между полюсами магнита. На этом решении, так же как и на попытках других изобретателей построить двигатель с возвратно-поступательным движением якоря, сказались неуменье отсутствовать от конструктивных форм паровой машины.

Все эти электродвигатели были так несовершенны, что не могли быть и речи об их практическом применении. Мощности первых электромагнитных приборов были крайне незначительными. Так, мощность электродвигателя С. дель Negro (1834 г.) составляла всего 0,00006 л. с., но этот изобретатель высказал плодотворную идею о возможности приведения в действие различных машин и механизмов с помощью электромагнитных устройств [10].

Наиболее существенные работы по созданию электродвигателей принадлежали Б. С. Якоби [11]. Его двигатель, построенный в 1834 г., был основан на взаимодействии электромагнитов; мощность составляла около 15 Вт. Основным достоинством конструкции было вращательное движение. Именно это позволило в будущем электрическому двигателю стать универсальным.

Якоби совершенствовал свой первый двигатель. Новая модель представляла собой сборный агрегат из 40 отдельных двигательных элементов, объединенных в две равные группы, каждая из которых располагалась на своем вертикальном валу; источником питания служили гальванические батареи. Для производства опытов двигатель мощностью около 550 Вт был установлен на гробовом боте, и 13 сентября 1838 г. бот с 11 пассажирами совершил небольшое плавание по Неве со скоростью до 4,4 км ч [12].

Созданию в Петербурге двигателя для электробота предшествовали работы американского изобретателя Томаса Денепорта, предложившего в 1837 г. конструкцию с вертикальным расположением вала, что существенно уменьшало габариты двигателя. Но питание от гальванических батарей оказалось крайне неэкономичным — от идеи использовать электродвигатель в судоходстве пришлось отказаться.

Поиски рациональных конструкций электродвигателей, действующих на принципе магнитных притяжений и отталкиваний, продолжались в 40—50-х и даже 60-х годах XIX в. Но этот тип двигателей не мог получить сколько-нибудь широкого признания, так как ему были присущи серьезные недостатки: пульсирующий момент на валу, большое магнитное рассеяние, низкий КПД. Наиболее удачной конструкцией считается электродвигатель французского электротехника П. Г. Фромана, организовавшего серийный выпуск своей модели 1847 г. на парижском заводе в

50—60-х годах [13, с. 59]. Его электродвигатели применяли для привода печатных машин в типографиях, иногда для жаккардовских ткацких станков, подъемников и других машин, которые работали всего по несколько часов в сутки. Лишь в подобных случаях электропривод мог конкурировать с паросиловыми установками.

Существенным шагом вперед в истории развития электродвигателя была разработка кольцевого якоря с равномерно расположенными секциями обмотки и коллектором с большим числом пластин, обусловившего практически постоянный вращающий момент. Электродвигатель с кольцевым якорем был предложен итальянским ученым А. Папинотти в 1860 г. Но это изобретение прошло незамеченным, так как еще не существовало генератора, который смог был обеспечить экономичное питание.

Совершенствование электромашинных генераторов до 70-х годов шло параллельно и независимо от развития электродвигателей. После открытия Фарадеем в 1831 г. электромагнитной индукции появился принципиально новый тип генераторов — магнитоэлектрические машины. Одна из первых — конструкция И. Пиксии (1831 г.). Генерация тока в магнитоэлектрических машинах происходила вследствие перемещения постоянных магнитов относительно катушек. В физических кабинетах опыты производили на магнитоэлектрических машинах лондонского мастера К. Х. В. Кларка и лейпцигского конструктора Э. Штерера [14, с. 100, 104]. Практическое применение одними из первых нашли генератор Б. С. Якоби (1842 г.) для питания электрических заводов при взрывании мин [15] и генераторы французской фирмы «Альянж» (50-е годы) для питания дуговых ламп (при маяках) и пнога для электролиза.

Магнитоэлектрическим генераторам были присущи общие недостатки: быстрое размагничивание постоянных магнитов, пульсирующий ток, перегрев якорей, изготовлявшихся из сплошного куска стали, большое магнитное расстояние, громоздкость.

Со временем этот тип генераторов был полностью вытеснен из практики.

В 50-х годах XIX в. появился более совершенный тип генератора благодаря главным образом работам немецкого врача В. Зинстедена, заменившего в 1851 г. постоянные магниты электромагнитами, и датского изобретателя С. Хюорта, открывшего принцип самовозбуждения. Независимо от Хюорта венгерский физик А. Иедлик также обнаружил явление самовозбуждения магнитного поля электрической машины во время ее пуска в том случае, если обмотки возбуждения присоединены к зажимам якоря [8, с. 57]. В конце 60-х годов англичане К. и С. Варли и немецкий инженер и электропромышленник В. Сименс создали первые генераторы с самовозбуждением, получившие название динамоэлектрических машин. Однако и они давали пульсирующий ток и сильно перегревались из-за несовершенства являющихся якорей [16, с. 32].

В развитии электрических машин крупным шагом вперед явилось создание генератора с кольцевым якорем [14, с. 112], предложенного в 1870 г. французским изобретателем (бельгийцем по происхождению) З. Т. Граммом. В изобретении Грамма особенно перспективной оказалась мысль снабдить кольцевым якорем машину с самовозбуждением. Динамомашина

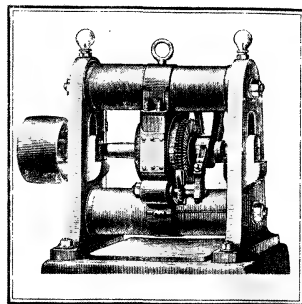
постоянного тока Грамма оказалась наиболее экономичным генератором. Он обеспечивал практически неизменный по величине ток. Существенное улучшение затем было сделано в 1873 г. немецким электротехником Ф. Гешнер-Альтенком, который заменил кольцевой якорь барабанным. Такой генератор был пригоден для питания электрических двигателей, светильников и для ведения процессов электролиза. С этого времени для практического применения электричества открылась широкая дорога.

Наступил переход к новой эре — эре электроэнергетики. Ей предшествовало последовательное, все более полное производственное использование превращения энергии: от водяного колеса к тепловой машине, а затем к электродвигателю. По выражению Ф. Энгельса, электричество замкнуло круг полезных трансформаций энергии: «...использование электричества откроет нам путь к тому, чтобы превращать все виды энергии — теплоту, механическое движение, электричество, магнетизм, свет — одну в другую и обратно и применять их в промышленности»<sup>1</sup>.

### 3. НАЧАЛО РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ОСВЕЩЕНИЯ

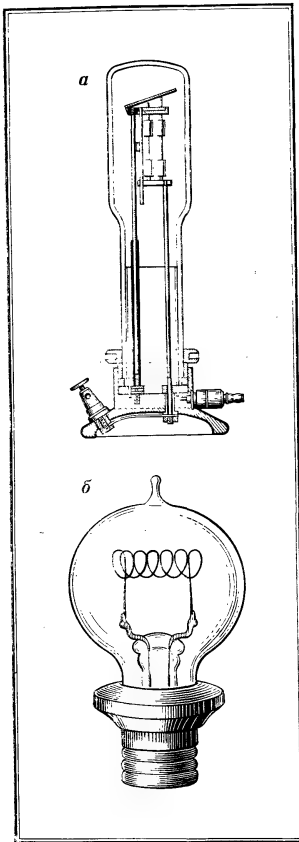
Идея использования электрической энергии для освещения появилась еще у первых исследователей гальванического электричества. В 1801 г. Л. Ж. Тенар, пропуская через платиновую проволоку электрический ток, довел ее до белого накала. В 1802 г. русский физик В. В. Петров, получив впервые электрическую дугу, заметил, что ею может быть освещен «темный покой». Тогда же он наблюдал электрический разряд в вакууме, сопровождавшийся свечением [17]. Несколькими годами позже английский ученый Г. Дави также высказывал мысль о возможности освещения электрической дугой. Таким образом, в экспериментальных работах начала XIX в. уже были выявлены три принципиально разные возможности электрического освещения, реализованные позднее в лампах накаливания, дуговых и газоразрядных осветительных приборах, однако до практического их освоения было тогда далеко.

Первые попытки были направлены на создание источника света, действующего вследствие накаливания проводника током. В 1820 г. французский ученый Деларю предложил цилиндрическую трубку с двумя



Динамоэлектрическая машина Грамма  
(Франция, 70-е годы XIX в.)

<sup>1</sup> Маркс К., Энгельс Ф. Соч., т. 35, с. 374.



концевыми зажимами для подвода тока и платиновой спиралью в качестве тела накала. Лампа Деларю оказалась непригодной для практического использования [18, с. 299]. Изобретательская мысль обратилась к отысканию приемлемых материалов для тела накала и технологии его получения. Бельгийский инженер Юбар в 1838 г. [9, с. 127], русский изобретатель Барщевский в 1845 г., немецкий механик Г. Гебель в 1846 г., английский физик Д. В. Свон в 1860 г. [14, с. 127, 129] предлагали новые конструкции и усовершенствования, но оптимистического успеха достигнуто не было. В то же время было установлено, что в качестве тела накала могли быть использованы платина, обугленные растительные волокна или ретортный уголь. Правда, платина была слишком дорогостоящей, а уголь — недолговечным. Для увеличения времени службы лабораторных образцов Г. Гебель в 1856 г. поместил тело накала в вакуум [3, с. 304]. К 1860 г. относится создание русским подполковником В. Г. Сергеевым оригинального прожектора (лампы-фары), предназначенного для освещения минных галерей. Телом накала в лампе служила платиновая спираль; предусматривалось водяное охлаждение прибора [19].

Заметный прогресс в создании электрических осветительных приборов наступил в 70-е годы благодаря работам русского изобретателя А. Н. Лодыгина и американского изобретателя Т. А. Эдисона. В течение 1873—1874 гг. Лодыгин неоднократно устраивал временное электрическое освещение на

Лампы накаливания  
а — Лодыгина—Дидрихсона; б — Эдисона

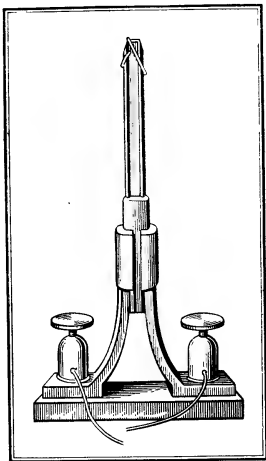
улиц и в общественных зданиях Петербурга с помощью созданных им светильников. В качестве тела накала в них использовались стержни из ретортного угля; для увеличения долговечности в ряде образцов (конструкции Лодыгина—Дидрихсона) монтировали несколько стерженьков, автоматически включавшихся взамен сгоравших, а из баллонов откачивали воздух. Лодыгин первым продемонстрировал практическую пригодность и эксплуатационное удобство ламп накаливания, преодолев барьер скептического отношения многих ученых и инженеров к принципиальной возможности осуществления этого вида освещения.

В 1879 г. Эдисон, добившись получения высококачественных материалов для тела накала и улучшения откачки воздуха из баллона, создал лампу с продолжительным сроком службы, пригодную для массового употребления [20, с. 180—182]. Особенно стремительное развитие электрического освещения начинается после освоения технологии изготовления вольфрамовых нитей. Способ применения вольфрама (или молибдена) для тела накала впервые дал А. Н. Лодыгин, предложивший в 1893 г. накалять платиновую или угольную нить в атмосфере хлористых соединений вольфрама (или молибдена) вместе с водородом. Начиная с 1903 г. австрийцы Юст. Ф. Ханаман [21] стали использовать идею Лодыгина в промышленном производстве ламп накаливания.

Введение электрического освещения способствовало развитию различных отраслей электротехники (электромашиностроения, электроиздательной техники, приборостроения) и в конечном счете создавало объективные условия для перехода к централизованному электроснабжению.

На определенном этапе важная историческая роль в развитии электротехники принадлежала таким дуговым осветителям. Интерес к разработке дуговых источников света проявился несколько позже, чем к лампам накаливания, так как казалось, что создать конструкцию дуговой лампы, в которой бы обеспечивалась неизменность расстояния между электродами по мере их сгорания, затруднительно. Кроме того, долгое время не удавалось разработать технологию изготовления качественных угольных электродов [22]. Первые дуговые лампы с ручным регулированием длины дуги построили французы — ученый Ж. Б. Л. Фуко и электротехник А. Ж. Аршо в 1848 г. [20, с. 127, 128]. Эти лампы годились лишь для кратковременного подсвечивания. Изобретательская мысль направляется на создание автоматических регуляторов с часовыми механизмами и с электромагнитными устройствами. В 50—70-х годах это были наиболее распространенные электроавтоматические устройства. Дуговые лампы с регуляторами получили некоторое применение на маяках, для освещения гаваней и больших помещений, требующих интенсивной освещенности.

Однако конструкции электродуговых светильников с регуляторами, на усовершенствование которых было затрачено много усилий, не могли служить для массового применения. Радикальное решение проблемы было найдено русским изобретателем П. Н. Яблочковым, предложившим в 1876 г. дуговую лампу без регулятора — «электрическую свечу» [23]. Решение Яблочкова было гениально просто: расположить электродные уголи, изолировав их тонким слоем каолина, параллельно один другому и поставить вертикально. В таком положении по мере сгорания углей расстояние между ними не менялось — они сгорали подобно свече, и нуж-



Электрическая свеча П. Н. Яблочкова

да в регуляторе отпадала. В процессе совершенствования своего изобретения Яблочков пришел к интереснейшим решениям, которые существенно отразились на всем ходе развития электротехники.

Прежде всего это относилось к освоению на практике переменных токов. В течение всего предшествующего периода применение электричества базировалось исключительно на постоянном токе. Сложилось убеждение, что переменный ток не пригоден для технических целей. Для питания же свечей, как заметил Яблочков, лучше подходил переменный ток, обеспечивавший равномерное сгорание обоих углей. В короткий срок осветительные установки по системе Яблочкова были переведены на питание переменным током. Естественным результатом был увеличившийся спрос на генераторы однофазного переменного тока.

Яблочкову принадлежит заслуга решения задачи освещения любым числом ламп от одного генератора. До него каждая дуговая лампа

должна была иметь свой источник тока. Яблочков разработал несколько весьма эффективных схем «дробления электрической энергии», одна из которых — дробление посредством индукционных катушек — легла в основу построения электроэнергетических установок переменного тока, а сами индукционные катушки стали заметной вехой на пути создания трансформатора. В схемах Яблочкова впервые появились основные элементы современных энергетических установок: первичный двигатель, генератор, линия передачи и приемники.

Электрические свечи Яблочкова, названные «русский свет», в конце 70-х годов появились на улицах и в общественных зданиях многих столиц мира; они проникли в производственные корпуса крупных заводов, на строительные площадки, верфи и т. п. С осени 1878 г., после основания в Петербурге предприятия П. Н. Яблочкова по изготовлению электрических машин и аппаратов, введение электрического освещения в России также заметно ускорилось [24, с. 257].

Рост установок дугового электрического освещения вызывал потребность в мощных источниках тока. Появление динамомашины — экономичного электромашиного генератора — способствовало расширению сферы энергетического применения электричества. Разработка относительно дешевого и доступного приемника электрической энергии повлекла

за собой зарождение идеи централизованного производства электроэнергии. Таким образом, электродуговое освещение, не войдя в дальнейшем в практику столь широко, как освещение лампами накаливания, сыграло большую историческую роль в развитии новых направлений электротехники.

#### 4. ПРОБЛЕМА ПЕРЕДАЧИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ НА РАССТОЯНИЕ

Создание экономичных машин постоянного тока и начальные шаги в развитии электрического освещения и электрического привода не могли бы внести кардинальных изменений в производственную практику, если бы не была решена другая краугольная задача электроэнергетики — передача электрической энергии на расстояние. В 70—80-х годах XIX в. передача электрической энергии на расстояние, в связи с возникновением крупных промышленных предприятий, удаленным от источников механической энергии, энергии к потребителям, удаленным от источников механической энергии, существовала и так или иначе разрешалась задолго до появления первых электростанций. Так, посредством проволочных канатов удавалось достигнуть дальности передачи до 120 м, а при устройстве промежуточных блоков — до 5 км. Неоднократно предпринимались попытки использовать для передачи энергии сжатый воздух и гидравлическое давление, но ни тот ни другой принцип не мог лечь в основу обеспечения механической энергией фабрично-заводского производства в широком масштабе.

Надежды изобретателей обратились к новому виду энергии — к электричеству. Первые опыты передачи электрической энергии на расстояние относятся к началу 70-х годов. В 1873 г. французский физик И. Фонтен демонстрировал на Венской международной выставке свойство обратимости электрических машин: приводил в действие двигатель (машину Грамма) от генератора (такой же машины Грамма). Двигатель и генератор соединялись между собой кабелем длиной в 1 км. Таким образом была доказана принципиальная возможность передачи механической энергии на относительно большое расстояние путем двойного преобразования энергии: механической в электрическую на генераторном конце и электрической в механическую — у потребителя. Экономическая целесообразность такого принципа еще не была тогда доказана.

Начиная с 1874 г. в течение нескольких лет русский военный инженер Ф. А. Пироцкий, стремясь доказать экономичность «электрической передачи силы», провел серию опытов, используя проводники большого сечения — заброшенную ветку Сестрорецкой железной дороги.

Прогрессивный путь решения проблемы передачи электрической энергии нашли в 1880 г. французский ученый М. Депре и русский физик Д. А. Лачинов. Математическим анализом существа физических процессов в системе генератор—линия—двигатель они показали, что эффективность электропередачи может быть достигнута при увеличении напряженности в линии [25, 26].

Теоретический вывод, подытоживший эмпирические знания в области электрических машин и электрических цепей, послужил надежной платформой для последующих технических решений. В 1882 г. Депре построил

первую опытную электропередачу Мисбах — Мюнхен протяженностью 16 км, напряжением постоянного тока 1,5—2 кВ; КПД не превышал 0,22 % [27]. Первый практический шаг еще не дал благоприятных результатов, но он стал отправным пунктом для последующих работ. На новой опытной установке Вазиль — Гренобль 1883 г. энергия, переданная в Гренобль (примерно 7 л. с.), использовалась для привода нескольких печатных и других машин. КПД передачи был равен 62 %.

Ф. Энгельс с исключительной прозорливостью оценил открытие Дедре, громадное значение нового технического направления, увидев в нем не только зародыш будущего освобождения промышленности «почти от всяких границ, полагаемых местными условиями»<sup>2</sup>, но и источник глубочайших социальных изменений.

Опыты передачи энергии большого масштаба были осуществлены в 1885 г.; напряжение линии передачи длиной в 56 км (между Крейлем и Парижем) достигло 6 кВ. Тогда это было предельным напряжением для машин постоянного тока по условиям изоляции и коммутации.

Вскоре была осуществлена передача постоянного тока на более высокое напряжение — до 12 кВ. Однако электропередача постоянного тока столь высокого напряжения были единичными. Трудности создания машин высокого напряжения и преобразования тока высокого напряжения в ток низкого напряжения у потребителей заставили обратиться в середине 80-х годов к исследованию свойств переменных токов.

## 5. РАЗВИТИЕ ТЕХНИКИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Переменный ток от магнитоэлектрических машин умели получать еще в 30-х годах XIX в., но на практике этот вид тока был признан и оценен значительно позже. До середины 70-х годов к генераторам переменного тока обращались эпизодически. Толчком к развитию этого вида электрических машин, как уже отмечалось, послужило изобретение Яблочковым электрической свечи. К середине 80-х годов появились пригодные для практических целей генераторы переменного тока благодаря многочисленным усовершенствованиям, внесенным Яблочковым, Граммом и английскими учеными и инженерами В. Томсоном (Кельвином), С. Ферранти, В. Мордеем, Д. Гордоном.

В 1870—1880-х годах был создан трансформатор. Сначала появились индукционные катушки Яблочкова (еще с разомкнутой магнитной системой), служившие, как уже отмечалось, для «доблнения» электрической энергии в осветительных установках. Затем работы И. Ф. Усагина, Л. Голлара, Э. Д. Гиббса и других изобретателей все более приближали аппарат к виду, который можно назвать трансформатором в современном понимании. В 1884 г. англичане Джон и Эдуард Голкинсон впервые создали конструкцию с замкнутой магнитной системой, в 1885 г. венгерский электротехник М. Дери и независимо от него С. Ферранти в Англии и А. Кеннеди в США предложили параллельное включение трансформаторов в питающую линию [14, с. 175]. Аппарат с замкнутым шихтованным магнитным сердечником разработали венгерские электротехники О. Благи, М. Дери

и К. Циперновски и американский инженер В. Стенли. В создании надежных мощных силовых трансформаторов существенное значение приобрело изобретенное в конце 80-х годов Д. Свинберном масляное охлаждение [16].

Уже первые трансформаторы и генераторы однофазного переменного тока, обладавшие достаточно высокими эксплуатационными параметрами, позволили осуществить в 1884 г. пробные передачи электроэнергии на расстояние. Важным событием в истории освоения техники переменных токов стала первая крупная электростанция однофазного тока, построенная в 1885 г. в Деттфорде (близ Лондона) для освещения улиц в западной части города: мощность 1000 кВт, расстояние передачи 12 км при напряжении 10 кВ. Крупные станции однофазного переменного тока в 1887 г. были построены в России: в Одессе и Царском Селе.

Опыт эксплуатации уже первых станций показал большие возможности переменного тока для экономичной передачи энергии на расстояние, но обнаружил и основной его недостаток: ограниченность использования в сфере освещения, так как экономичные электродвигатели однофазного тока не существовало. Победа переменного тока началась с освоения нового физического принципа работы электродвигателей — вращающегося магнитного поля.

Явление вращающегося магнитного поля было открыто в 1885 г. итальянским физиком Г. Феррарисом. Первоначально он пришел к неправильному выводу, что у электродвигателя, построенного на этом принципе, КПД не может быть выше 50%. Это ослабило его интерес к открытому явлению.

Изучавший вращающееся магнитное поле югославский ученый и изобретатель Н. Тесла установил, что с помощью двух или более переменных токов, сдвинутых по фазе, можно получить вращающееся магнитное поле и создать на этом принципе электродвигатель. Тесла также пришел к выводу о целесообразности получения необходимой разности фаз с помощью специального генератора. В 1887—1888 гг. он создал схемы и модели многофазных двигателей и генераторов и в их числе двухфазные генератор и асинхронный двигатель — вполне работоспособную систему. Она получила признание, но не нашла широкого распространения, так как оказалась менее совершенной по сравнению со связанной трехфазной системой тока, созданной в Европе. По проекту Теслы была сооружена крупнейшая для того времени Ниагарская гидроэлектростанция двухфазного тока и еще некоторые установки в Америке и Западной Европе.

К 1887—1889 гг. относятся попытки немецкого инженера Ф. А. Хазельандера и американца Ч. Бродли получить генераторы и двигатели, приближающиеся к связанной трехфазной системе [28, с. 43—45].

В создании практически целесообразного двигателя трехфазного переменного тока первенствующая роль принадлежала русскому инженеру М. О. Доливо-Добровольскому. В 1889 г. он создал конструкцию трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором. Двигатель имел несомненные достоинства: самостоятельно приходил во вращение при включении напряжения, не требуя специального возбуждения, как синхронные двигатели, или дополнительного двигателя для разгона, как двухфазные моторы; его питание осуществлялось с помощью трех проводов, присоединяемых к трем концам обмоток статора вместо четырех про-

<sup>2</sup> Маркс К., Энгельс Ф. Соч., т. 35, с. 374.

водов при двухфазной системе. Одним из основных его преимуществ по сравнению с машинами постоянного тока было отсутствие скользящих контактов, а значит, и искрения щеток на коллекторе. Для мощных двигателей Дюливо-Добровольский в 1890 г. разработал конструкцию ротора с фазной обмоткой и контактными кольцами. Трехфазные асинхронные двигатели, широко применяемые в промышленности до настоящего времени, в своих принципиальных чертах не менялись с момента их изобретения. Завершающим моментом было создание М. О. Дюливо-Добровольским в том же 1889 г. трехфазного трансформатора [29]. Способы генерирования, передачи и распределения электрической энергии по системе трехфазного тока позволяли осуществить экономичное электроснабжение.

## 6. НАЧАЛО ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ

### Развитие электростанций постоянного тока

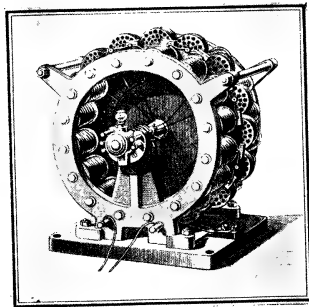
Начальный период электрификации связан с использованием постоянного тока. После удачных опытов применения динамомашины в 70-х годах XIX в. возникли небольшие генераторные установки для питания одной определенной нагрузки: дуговой лампы, электрического двигателя или гальванической ванны. Это был этап децентрализованного производства электрической энергии. Следующий ступенью в развитии электроснабжения стало питание от общего генератора ряда приемников — от домовых электростанций; затем возникли станции местного значения, служившие для электроснабжения городского квартала или завода — так называемые блок-станции. Они вырабатывали ток низкого напряжения (порядка 100—200 В), что резко ограничивало протяженность электрических сетей. Первые блок-станции возникли в Париже для питания свечей Яблочкова. В России первой станцией такого рода была установка для освещения Литейного моста в Петербурге, построенная в 1879 г. при участии П. Н. Яблочкова. В конце 1881 г. появились блок-станции, в сети которых включались дуговые лампы и лампы накаливания, например станция в Честерфилде (Англия) и станция в Лубянском пассаже в Москве.

Вместе с ростом числа потребителей электроэнергии увеличивались мощности электростанций и все более отчетливо проявлялась тенденция централизации электроснабжения. Первая центральная электрическая станция была построена Т. А. Эдисоном в 1882 г. на Пирлстрит в Нью-Йорке для питания осветительной нагрузки. Ее общая мощность превышала 500 кВт [14, с. 144, 145; 30]. В 1883 г. возникла центральная электрическая станция в Петербурге для освещения Невского проспекта. Эксплуатация первых ЦЭС обнаружила недостаток, не преодоленный в течение всего времени применения постоянного тока: ограниченный радиус электроснабжения, определяемый величиной допустимых потерь напряжения в электрической сети. Это обстоятельство заставляло сооружать электростанции вблизи от потребителей, главным образом в центральных частях города, что, в свою очередь, затрудняло снабжение водой и топливом и было сопряжено с высокой стоимостью земельных участков. Поэтому в Нью-Йорке в тот период были вынуждены прибегнуть к многоэтажному

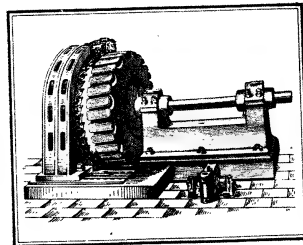
размещению стационарного оборудования, а в Петербурге первые электростанции были установлены на баржах на реках Мойке и Фонтанке.

С ростом потребителей электроэнергии начинаются настоящие поиски путей увеличения расстояния передачи энергии. Эффективными оказались трехпроводные сети по схеме, предложенной в 1882 г. Д. Гонкинсоном и независимо от него Т. А. Эдисоном. Этот способ обеспечивал повышение напряжения в линии вдвое и нашел весьма широкое распространение. Еще более эффективной была пятипроводная сеть, так как напряжение при этом возрастало вчетверо. Автором схемы был В. Сименс. Она не нашла широкого признания, так как при увеличении радиуса электроснабжения всего до 1,5 тыс. м устройство сети существенно усложнилось. Другой путь увеличения дальности передачи состоял в сооружении аккумуляторных подстанций. Мощность электростанций постоянного тока редко превышала 500 кВт, однако большое их число, построенное за последние два десятилетия XIX в., определяло их существенную долю в общей выработке электроэнергии.

К 90-м годам централизованное электроснабжение стало определяющим для электрического освещения, но не распространялось на силовое электрооборудование. Электрификация рабочих машин в заводских условиях носила ярко выраженный децентрализованный характер: электрифицировали отдельно стоящие крупные машины и механизмы, для которых устанавливали самостоятельные динамомашины. Для приведения в действие группы станков через трансмиссии (крупнотрансмиссионный электропривод) вместо паровой машины устанавливали относительно крупные электродвигатели, питаемые от отдельных генераторов. Опыт приме-



Генератор постоянного тока с секционированными обмотками для питания 10 электрических ламп Сименса (80-е годы XIX в.)



Генератор трехфазного тока М. О. Дюливо-Добровольского (90-е годы XIX в.)

нения электрических двигателей для приведения в действие разнообразных машин-орудий постепенно убеждал в их большей экономичности по сравнению с приводом от паровой машины. В начале 90-х годов начинается электрификация силовых процессов в горнозаводской и металлургической промышленности, в текстильном производстве и т. п.

Крупная промышленность выдвинула к концу XIX в. ряд совершенно новых требований к ведению самого производства. Увеличилась его сложность и точность, произошло ускорение темпов технологических процессов, развились непрерывные виды производства, расширились площади промышленных предприятий — все это усложнило задачу управления системой машин. В ряде случаев человек оказывался не в состоянии справиться с механическими операциями без специальных дополнительных средств. Ярким примером такого производства стала металлургическая промышленность. В начале 90-х годов электрический привод проникает на металлургические заводы США для производства проката и для осуществления загрузки мартеновских и доменных печей. В этот период зарождается автоматическое управление процессами пуска, торможения, остановки и скоростью электродвигателей с помощью релейно-контакторной аппаратуры, а также появляются схемы электромашиной автоматизации. Предвестником электромашиной автоматизации следует считать изобретение русского электротехника В. Н. Чиколета — его дифференциальную лампу с электродвигателем для регулирования потожения углей в дуговой лампе (1874 г.) [31]. Следующим шагом на пути к электромашиному регулированию была схема генератор — двигатель. М. О. Долливо-Добровольского (1890 г.) для электродвигателей с серийным возбуждением, с помощью которой обеспечивалась примерно постоянная скорость вращения при значительных изменениях нагрузки [28, с. 215]. В 1892 г. американский инженер В. Леонард предложил способ плавного и в широких пределах регулирования по схеме генератор — двигатель, ставшей классической [32]. Она нашла широкое применение для электропривода прокатных станов и подъемников начиная с 1903 г., когда немецкий инженер К. Пльгнер сделал дополнение к схеме Леонарда в виде махового колеса для выравнивания толчкообразной нагрузки. Эту систему электромашиного управления используют до настоящего времени.

С 70-х годов развертываются работы по применению электрической энергии на транспорте. В 80—90-х годах XIX в. появляются первые электрические железные дороги и электрический трамвай. Электрическая тяга развивалась преимущественно на постоянном токе [3, с. 450—452].

Электрические двигатели постоянного тока по мере их распространения в различных отраслях промышленности приобрели репутацию универсального и безотказного источника механической энергии. Электропривод обеспечивал простоту и быстроту пуска, возможность регулирования скорости вращения, компактность и легкость, приспособимость к любым производственным процессам при меньших эксплуатационных затратах на единицу продукции по сравнению с паровым приводом. Однако ограниченные возможности передачи электроэнергии на расстояние постоянным током не могли обеспечить широкой электрификации.

## Электрификация на основе трехфазной системы токов

Возникновение техники трехфазных токов решало не только задачу использования электроэнергии, но и ее передачи на значительные расстояния. Оно знаменовало собой новый, современный этап в развитии электроэнергетики и обусловило переход к широкой электрификации.

Трехфазная система впервые демонстрировалась на Международной электротехнической выставке 1891 г. во Франкфурте-на-Майне [33, с. 365—366]. По инициативе видного немецкого электротехника О. фон Миллера организаторы выставки обратились к фирме АЭГ, где работал Долливо-Добровольский, с просьбой устроить передачу энергии мощностью 300 л. с. от водопла на р. Неккар (близ Лауфена) на территорию выставки. Под руководством М. О. Долливо-Добровольского была сооружена линия передачи протяженностью 175 км при линейном напряжении около 15 кВ. На выставке горела тысяча ламп накаливания, асинхронный двигатель мощностью 100 кВт нагнетал воду для декоративного водопла. Максимальный КПД передачи составлял 75,2%, что в то время убедительно доказывало экономичность энергетической установки [28, с. 125].

После закрытия выставки гидростанция в Лауфене перешла в собственность города Хейльбронна и использовалась для питания осветительной сети города и ряда небольших заводов и мастерских. Это была первая промышленная установка трехфазного тока. В 1892 г. была готова пропелерада Бюлах — Эрликон в Швейцарии, а затем довольно быстро был введен в работу ряд электростанций в Германии. В Америке первая установка трехфазного тока введена в Калифорнии в 1893 г. и в том же году в России на Новороссийском элеваторе. Примечательно, что мощность установки в Новороссийске (1200 кВт) превосходит все существовавшие до того трехфазные электростанции [34, с. 74]. Внедрение системы трехфазных токов протекало в атмосфере напряженной борьбы. Противниками этой системы были в США Эдисон [35, с. 89], в Англии — Свинберн, в Австро-Венгрии — Дерв, в Швейцарии — Броун. Все они были главами или представителями ведущих электротехнических фирм, которые в течение ряда лет активно внедряли один постоянный, другие — однофазный или двухфазный переменный ток. Их сопротивление было сломлено на рубеже XIX—XX столетий, когда со всей определенностью выявились преимущества техники трехфазного тока. Она обусловила возможность концентрации производства электроэнергии и передачи ее токами высокого напряжения на значительные расстояния. По мере строительства высоковольтных сетей возрастало их напряжение: в середине 90-х годов оно не превышало 10 кВ, а к концу столетия вводятся линии напряжением 50—60 кВ. Система трехфазного тока способствовала быстрому внедрению в производство относительно более дешевых и надежных асинхронных электродвигателей [36]. Процесс электрификации промышленных предприятий сопровождался вытеснением паровой машины из системы привода и ограничением ее назначения в качестве первичного двигателя, т. е. ее переходом из производственных цехов в машинные залы электростанций.



## Зарождение электротехнологии

Исследования тепловых и химических свойств электрического тока, проводившиеся физиками Э. Карлселем, В. Николсоном, В. В. Петровым, Г. Дэви, М. Фарадеем, Э. Х. Ленцем, Д. П. Джоулем, Б. С. Якоби, заложили научные основы практической электрохимии и электротермии. Промышленная электрохимия началась с освоения гальванотехнических процессов рафинирования меди и добычи электролитическим путем кислорода и водорода. Первоначально источниками электричества служили гальванические батареи. Отсутствие экономичных и достаточно мощных генераторов тормозило внедрение в практику электрохимических и электротермических процессов. Лишь появление в начале 70-х годов динамомашины дало заметный толчок развитию электрохимии и электротехнологии. Еще больший размах эти отрасли получили с введением централизованного электроснабжения. К концу XIX в. электролитическим путем производили в широких масштабах рафинированную медь, бертолетову соль, хлор, некоторые щелочи, озон (для стерилизации и очистки воды). Развивалась и совершенствовалась гальванотехника. Использование электрической энергии привело к появлению и развитию новых способов производства искусственных удобрений для сельского хозяйства. В это же время возник ряд электротехнологических и электрохимических производств, основанных на применении электрических печей. Был изобретен и стал применяться на практике новый способ обработки металлов — электросварка.

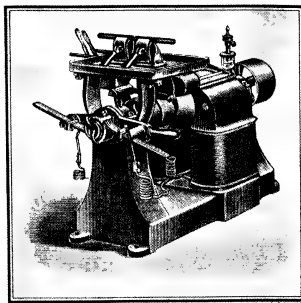
Одна из первых попыток (1867 г.) сварить два куска металла в месте их электрического контакта принадлежала американскому ученому и инженеру Н. Томсону. На практике этот способ стали использовать лишь в 90-е годы после капитальных усовершенствований. К этому времени во многих странах уже широко применяли «электрогребеш», разработанный русским изобретателем Н. Н. Бенардосом. В 1882 г. он осуществил электрическую сварку металлов, которые сплавлял электрической дугой с дополнительно вводимым присадочным электродом. Он же предложил еще несколько видов сварки: контактную, сварку в струе защитных газов (1887 г.) и др. В 1888 г. русский инженер Н. Г. Славянов изобрел способ сварки расплавленным металлическим электродом и назвал его «электрической отливкой металлов». Электрическая сварка металлов приобрела большую популярность в Западной Европе на заводах Крезе и общества «Комантри» (Франция), на предприятиях Круппа в Эссене (Германия) и «Эргард и Гей» (Австрия), более чем на 20 заводах Англии. Особенно стремительно электросварку вводили в Англии, где в 1890 г. был построен специальный завод для производства сварочных машин и завод по эксплуатации электросварки методами Коффена и Дегруа, приспособивших электрогребеш для сварки небольших предметов. Электрогребеш использовали также для резки металлов и сверления отверстий. К сожалению, на родине изобретателей электросварки — в России новый способ получил ограниченное применение: в нескольких железнодорожных мастерских. К началу 900-х годов более 70 крупных заводов Западной Европы ввели у себя способы электрической отливки и паяния. Однако после промышленного освоения в 1906 г. ацетилено-кислородной сварки интерес к электросварке временно упал [37].

Развитие электротехнологии и электрохимических производств с использованием электронагрева стало возможным после создания качественных и экономичных электрических печей. Одна из наиболее ранних попыток построить электрическую печь относится к 1815 г. Кусок стали, помещенный в специальную камеру, был нагрет проходящим по нему током. Это была печь сопротивления прямого действия. Подобного рода печи промышленного значения была создана в 1884 г. братьями Коульс в США для восстановления алюминия и получения его сплавов. Другой вид — печи сопротивления косвенного действия: в них тепло выделялось в специально нагревателе из токопроводящего материала. Долгое время эти устройства оставались лишь в лабораториях.

По сравнению с печами сопротивления более прогрессивными оказались дуговые печи с использованием дугового электрического разряда. В таких печах можно было получить в небольшом объеме огромную концентрацию тепла, достаточную для расплавления даже самых тугоплавких металлов и минералов. В этом состояло основное преимущество электротермических аппаратов по сравнению с обычными металлургическими печами, в которых колоссальные потери тепла происходили из-за нагрева самих печей и лучеиспускания их обширных поверхностей. Практически пригодную конструкцию дуговой печи создал В. Сименс в 70-х годах XIX в. Со временем было разработано множество подобных аппаратов. Среди русских работ можно отметить дуговую электропечь Н. Г. Славянова (1890 г.) — так называемую «зложинду», в которой осуществлялось электрическое утолщение стальных отливок.

В 1892 г. французский химик А. Муассан построил дуговую электропечь, широко распространившуюся в химической и металлургической технологии. Мощность первых печей Муассана составляла не более 30 кВт, а во второй половине 90-х годов достигла 200 кВт и выше. Для их питания использовались постоянный и переменный трехфазный и однофазный токи. Одно из основных условий удобного и экономичного функционирования электротермического аппарата состояло в небольшом расходе угля электродов и в возможности легкого и точного управления дугой. На практике получили распространение индуктивные автоматические регуляторы, вышедшие американской фирмой «General Electric» [38, 39].

Электрические печи, использованные вначале для получения карбида кальция, стали технической базой для приготовления ферросплавов и сталей [40].



Электрическая сварочная машина И. Томсона (конец XIX в.)

## ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ — САМАЯ ТИПИЧНАЯ ДЛЯ НОВЕЙШИХ УСПЕХОВ ТЕХНИКИ

### 4. ПРЕДПОСЫЛКИ РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Развитие крупного машинного производства, сопровождавшееся постоянными техническими усовершенствованиями, с исторической неизбежностью вело к концентрации средств производства. И если в 70—80-е годы XIX в. возникали еще непрочные, находящиеся в начальной стадии своего развития картели, то в конце 90-х и особенно в начале 900-х годов они становятся одной из основ всей хозяйственной жизни. В мировой экономике в этот период господствующее положение захватили крупные монополии: совершался переход к высшей стадии капитализма — империализму.

Применяя новейшие достижения науки и техники, тресты и картели стали систематически повышать производительность труда и снижать себестоимость продукции. В этом процессе исключительно важная роль принадлежала новой, электрической технике, проникающей все более глубоко в производство и завоевывающей все более широкие сферы применения. В 80-х годах электрическая энергия стала быстро проникать в промышленность и транспорт как двигательная сила. На рубеже XIX и XX вв. электрическая техника уже существенно изменила энергетическую базу. Электропривод, электрическая технология и электрическое освещение коренным образом преобразуют технику и революционизирующие воздействия на промышленное производство в целом. Показательно, что различные фазы распространения электричества в технике совпадают по времени с развитием новых форм капиталистической концентрации. Именно поэтому В. И. Ленин подчеркивал, что «электрическая промышленность — самая типичная для новейших успехов техники, для капитализма конца XIX и начала XX века»<sup>1</sup>.

Электрическая промышленность, к которой в те времена относили и электроэнергетику, и электротехнические предприятия, с конца XIX в. стала одной из наиболее концентрированных и монополизированных отраслей мировой индустрии. Вошли в строй крупные электротехнические заводы. Усовершенствовалась техника генерирования, передачи и использования электрической энергии. Росли мощность станций и протяженность сетей, отдельные энергетические комплексы объединялись высоковольтными линиями передачи, происходил постепенный переход от централизованного электроснабжения отдельных предприятий к электрификации целых промышленных районов. Распространение электрического привода в производстве способствовало концентрации промышленности. Только электрическая энергия способна была ликвидировать разрыв между местонахождением природных ресурсов энергии (водных источников, залежей топлива) и расположением ее потребителей.

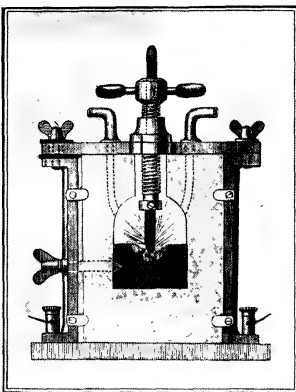
<sup>1</sup> Ленин В. И. Полн. собр. соч., т. 27, с. 365.

Эксплуатация мощных дуговых электропечей была связана с существенными трудностями из-за огромных «толчков» тока — номинальный ток печей достигал нескольких сотен ампер. На технологический процесс решающее значение оказывали характеристики самой дуги. В частности, удлинение дуги способствовало экономичности печей, так как дуга при этом делалась более устойчивой и улучшалась передача тепла к металлу. Для придания дуге желаемой формы и размеров прибегали, начиная с первой печи Сименса, к установке электромагнитов. Удачный способ удлинения дуги был найден русским инженером С. И. Тельным (1916 г.): в под печи закладывался медный соленоид, включенный последовательно с электродами; взаимодействие электромагнитного поля соленоида с дугой приводило дугу во вращение, отчего она удлинялась.

Продолжались поиски рациональных методов индукционного нагрева. В 1900 г. швед Ф. А. Челдин изобрел индукционную печь, питаемую током нормальной частоты (для выплавки цветных металлов). В 1907 г. А. Н. Лодыгин предлагал нагревать и плавить металлы с помощью вихревых токов. В промышленных установках в первом десятилетии XX в. использовали трехфазные индукционные печи Рёхлинг—Роденгауэра и Челдина.

В конце прошлого века электрохимия, электрометаллургия и электротермия вошли в тесное взаимодействие. Со временем эти направления электротехники выделились в самостоятельные отрасли науки и техники. Эти электрометаллургические производства развивались по мере централизации производства электроэнергии и ее удешевления. Наиболее перспективным в данном случае оказалось электроснабжение от гидроэлектрических станций. В России, не располагавшей мощными ГЭС, электрометаллургические производства развились незначительно. В основном электроэнергию использовали для электропривода.

В рассматриваемый период электротехника выделялась из физики и становилась самостоятельной отраслью техники и промышленности. В 90-е годы на основе развивающейся системы трехфазного переменного тока обрела самостоятельность электроэнергетика. Это повлекло за собой глубокие преобразования во всех отраслях общественного производства. Начался переход от механических систем передачи энергии к электроприводу рабочих машин.



Электрическая лабораторная печь (1893 г.)

В процессе передачи и распределения энергии электричество играет роль вторичной энергии. Природные первичные виды энергии (гидравлическая, тепловая, химическая, ветровая) могут быть преобразованы во вторичную — электрическую. Лишь ее гибкость, транспортабельность и легкая трансформируемость смогли разрешить успешно проблему энергоснабжения крупной промышленности и в известной мере сельского хозяйства, транспорта, быта. Громадное влияние электрификации не только на состояние техники, но и на развитие общественного производства в целом и на развитие общественных отношений в частности было оценено К. Марксом и Ф. Энгельсом еще во время первых опытов передачи электрической энергии. К. Маркс писал об электрической искре, которая в качестве силы, революционизирующей производство, приводит на смену «его величеству» пару. По поводу решения в 1880-е годы проблемы электропередачи Ф. Энгельс прозорливо отмечал социальное, революционно-преобразующее воздействие широкого использования электрической энергии: «Совершенно ясно, однако, что благодаря этому производительные силы настолько вырастут, что управление ими будет все более и более не под силу буржуазии»<sup>2</sup>.

Значение электрификации как эффективнейшего средства повышения производительности и культуры труда можно проиллюстрировать таким показательным примером. Человек, используя свою мускульную силу, может развить в среднем мощность, равную 1/15 кВт. В то же время на современной гидроэлектростанции на каждые 1000 кВт приходится в среднем 1 человек обслуживающего персонала. Иными словами, производительность труда на ГЭС в 15 000 раз выше простых физических усилий человека [1, с. 484].

В 90-е годы, когда преимущества электрической техники по сравнению с паровой были подтверждены лишь единичными примерами и о вытеснении паровой машины электродвигателем (для привода рабочих машин) в широком масштабе вопрос еще не ставился, В. И. Ленин подчеркивал универсальный характер электроэнергии и перспективы ее применения в промышленности и сельском хозяйстве<sup>3</sup>. Уже в 1901 г. в работе «Аграрный вопрос и критика Маркса», говоря о применении электрической энергии, В. И. Ленин предугадывал ее революционную роль в техническом перевооружении народного хозяйства: «В настоящее время признаки грядущего технического переворота намечаются уже яснее»<sup>4</sup>. Позднее, в 1913 г. В. И. Ленин отмечал большое социальное значение электрификации. Одновременно он показал, что последствия электрификации в условиях капитализма и социализма принципиально различны<sup>5</sup>.

## 2. РЕВОЛЮЦИОННАЯ РОЛЬ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ В СИСТЕМЕ МАШИН

Процесс вытеснения пара электричеством совершался параллельно с прогрессом методов генерирования и передачи электроэнергии на расстояния, с успехами в создании электродвигателей и в разработке рациональных систем электропривода [2].

Основной технический вопрос, который стоял в начале 900-х годов перед инженерами по электрооборудованию промышленных предприятий, заключался в выяснении преимуществ групповой и одиночной систем привода. Актуальность этого вопроса проистекла из потребности найти наиболее экономичный способ передачи и распределения механической энергии. Первоначально полагали, что одиночный привод требовал лишь дополнительных расходов на новые двигатели и электрическую передачу энергии. На старых предприятиях замена крупногруппового привода одиночным затруднялась или просто была невозможна из-за отсутствия места для расстановки электродвигателей. Поэтому переход к одиночному электроприводу на предприятиях с налаженным производством был сопряжен с коренной реконструкцией цехов.

Чтобы судить об экономичности различных систем привода, изучали эксплуатационный опыт и ставили специальные эксперименты. Такие исследования проводились в Германии, Франции, России и других странах [3]. В первом десятилетии XX в. довольно отчетливо стали вырисовываться достоинства и недостатки обеих систем. Одиночный привод был гигиеничнее и безопаснее, сокращал время обработки сырых материалов и увеличивал производительность труда. Его чаще применяли в тех случаях, когда станки располагались на большой площади, а время их работы не совпадало. Групповой привод все еще одерживал верх при коротких трансмиссиях и тогда, когда нужно было приводить в движение серии станков, мощности которых не превосходили 3—5 л. с.

Первое десятилетие XX в. ознаменовалось существенными усовершенствованиями электрических машин. В эти годы развернулись научные исследования физических процессов в электромагнитных механизмах [4]. Качество электрических машин удалось заметно повысить с получения новых ферромагнитных сплавов, идущих на изготовление остова. Например, в Германии были получены сплавы, отличавшиеся большой магнитной проницаемостью и малой коэрцитивной силой, что обеспечивало незначительные потери энергии в железе. Уточненные методы расчета, освоение рациональной технологии обработки деталей и разработка эффективных конструктивных форм также содействовали успеху. Все эти меры вели к уменьшению веса и снижению стоимости двигателей. Особенно сильно подешевели мелкие двигатели. По данным немецкого проф. Кюблера, цена двигателя переменного тока мощностью 1 л. с. упала с 450 марок в 1900 г. до 160 марок в 1908 г. Снижение цен прямо зависело от усовершенствования электродвигателей: за это же время затраты материалов на изготовление асинхронных двигателей сократились более чем в два раза. Заметно уменьшился и вес машин постоянного тока: со второй половины 80-х годов XIX в. до 1912 г. вес электродвигателей снизился в 3,5 раза [3, с. 85—87].

<sup>2</sup> Маркс К., Энгельс Ф. Соч., т. 35, с. 374.

<sup>3</sup> Ленинский сб., т. 19, с. 34—35.

<sup>4</sup> Ленин В. И. Полн. собр. соч., т. 5, с. 135.

<sup>5</sup> Там же, т. 23, с. 93—95.

Наряду с массовым выпуском наиболее ходовых двигателей ведущими мировыми электротехническими фирмами («AEG», «General Electric», «Westinghouse», «Siemens & Halske», «Brown, Boveri & Co» и др.) осваивались электродвигатели специального назначения, предназначенные для привода наиболее ответственных исполнительных механизмов: прокатных станов (мощностью 10, 15 и даже 17 тыс. кВт), горнозаводского оборудования, в том числе подъемников, вентиляторов и т. п. Разработка специальных электродвигателей получала все большее развитие по мере того, как внедрялась новая форма организации производства — массовое производство, характерной чертой которого становилась специализация машин и инструментов.

Распространению одиночного электропривода содействовали достижения в создании электрических средств регулирования скоростью. Был создан встроенный одиночный привод, при котором двигатель и рабочая машина представляли собой единую конструкцию. Существенно упрощалась кинематика станков, повысились их производительность, уменьшился расход энергии. Такой вид привода представлял собой более высокую ступень развития систем передачи энергии и получил со временем название индивидуального привода. Его появление было необходимым предпосылкой для создания автоматических электроприводов. Однако его применение в начале XX в. носило еще эпизодический характер [6].

На повышение экономичности электропривода влияли успехи общего машиностроения и металлургии. Вместе с улучшением качества сталей повышались допустимые скорости вращения станков, что позволяло сближать электрический двигатель и машину-орудие, отказываясь от промежуточных механических передач. Повышение скорости резания при введении инструментов из новых, более стойких материалов также заставляло конструкторов приближать двигатель к исполнительному механизму [7]. Эти и некоторые другие факторы способствовали распространению одиночного привода, нашедшего первоначально наибольшее применение в промышленности США. Статистические данные свидетельствовали о быстром снижении средней мощности выпускавшихся американской промышленностью электродвигателей: в 1907 г. — 3,71 л.с., а в 1908 г. — 3,26 л.с. Такие электродвигатели применяли в прогрессиравшем в тот период одиночном электроприводе [8]. Массовое применение одиночного привода за границей и в России началось в текстильном производстве.

К началу 900-х годов относится появление еще одного звена в эволюции систем привода — зарождение многодвигательных агрегатов. Прежде всего нашли применение электрифицированные мостовые краны с отдельным двигателем для каждого рабочего движения. В 1905 г. в США был запатентован многодвигательный электропривод для бумагоделательной машины; вскоре получил признание многодвигательный привод крупных шлифовальных станков, выпускавшихся заводом «Рейнекер» (Германия).

Несмотря на появление прогрессивных форм привода, преобладающим оставался групповой и реже — одиночный с ременной передачей от двигателя к машине-орудию. Тем не менее революционизирующее воздействие электропривода проявилось в полной мере в промышленном производстве в начале 900-х годов. Ни одно вновь вводимое крупное предприятие не ориентировалось на старый, трансмиссионный способ передачи механической энергии.

Другая техническая проблема при электрификации силовых процессов заключалась в рациональном выборе системы токов: постоянного или переменного трехфазного. Двигатели постоянного тока удерживали первенство там, где требовалось удобное и экономичное регулирование скорости вращения в широких пределах, а также при частом реверсировании. Выбор двигателей того или другого рода тока нуждался в индивидуальном решении [9].

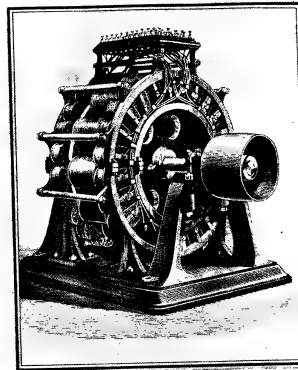
Постепенно практика убеждала в большей надежности асинхронных двигателей при массовой электрификации машин-орудий. По американской статистике за 1905 г., на долю коллекторов и щеткодержателей машин постоянного тока приходилось 28% всех повреждений в электрических установках. По немецким данным за 1912 г., выход из строя электродвигателей постоянного тока составлял 11,5%, а для электродвигателей переменного — 9% [5, с. 90].

Проникновение электрической энергии в промышленность явилось основным стимулом развития и укрупнения электростанций — фабрик по производству электрической энергии.

### 3. КОНЦЕНТРАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Переход к технике трехфазного переменного тока и решение проблемы передачи электрической энергии на значительные расстояния позволили резко увеличить возможности использования электрической энергии в промышленности, на транспорте и в быту. Во второй половине 90-х годов XIX в. во всех передовых капиталистических странах широко развернулось строительство электрических станций. К 1900 г. мировое производство электроэнергии достигло уже 15 млрд. кВт·ч [10]. Постепенно электростанции постоянного тока, занимавшие доминирующее положение на начальной стадии развития электрификации, вытеснялись установками трехфазного тока. Создание все более мощных электростанций диктовалось условиями экономичности. Их выгодно было строить на месте добычи топлива или вблизи источников водной энергии, а вырабатываемую энергию передавать по линиям высокого напряжения в промышленно развитые районы и города. Такие электростанции, получившие название районных, стали возникать еще в конце прошлого столетия.

Первой районной электростанцией была гидроэлектростанция в США на р. Ниагаре. Ее электрическая часть была выполнена двухфазной по



Машина переменного тока (1884 г.)

системе Tesla. Станция мощностью 37 тыс. кВт — грандиозное сооружение для того времени — была открыта в 1896 г. Энергия от Ниагарской ГЭС использовалась главным образом для электрохимических и электротермических производств — для заводов по изготовлению карбондур, карбида кальция, алюминия [11]. Эксплуатация ГЭС показала ее высокую экономичность и могла послужить основой для дальнейшего крупного гидроэлектростроительства.

В конце прошлого века сооружают еще несколько мощных гидравлических и тепловых электростанций: в Обершпее, около Берлина (1897 г.), Рейнфельдскую ГЭС (1898 г.), на Бакинских нефтяных промыслах (1899 г.) и др.

Широкий размах строительство районных электростанций получило в начале XX в. исключительно с использованием трехфазной системы токов. Основным техническим направлением в электростроительстве становится концентрация производства электроэнергии. В. И. Ленин, студирова в 1905 г. литературу по этому вопросу, сделал интересную выписку: «... в ближайшее время значительную роль в деле развития наших промышленных сил должны сыграть, вероятно, те силовые компании, которые применяют все возможные способы, чтобы удешевить электричество путем концентрации генераторных установок»<sup>6</sup>. Этот процесс особенно быстро протекал в Германии и США. В Германии происходил значительный количественный рост районных электростанций, сопровождаемый увеличением их мощности. Начиная с 1900 г., за 10—12 лет, мощность отдельных электростанций возросла с 200 до десятков тысяч киловатт. Например, станция Гольденберг перед первой мировой войной имела четыре генератора по 15 тыс. кВт.

Процесс концентрации производства электроэнергии наиболее стремительно совершался в США. К 1914 г. две крупнейшие станции страны компании Эдисона и Ниагарская ГЭС вырабатывали за год 2020,6 млн. кВт·ч, т. е. почти столько же, сколько все станции России вместе взятые.

Первая районная электростанция России «Белый уголь» была построена в 1903 г. на реке Подкумок близ Ессентуков. Она питала электроэнергией города минераловодской группы по четырем воздушным трехфазным линиям напряжением 8 кВ и имела небольшую мощность [12]. Более крупная станция «Электропередача» была сооружена в 1914 г. в г. Богородске (теперь г. Ногинск) для электроснабжения Москвы. На станции были установлены три турбогенератора по 5 тыс. л. с. Это была самая крупная в мире электростанция, работавшая на торфе. Росла мощность столичных электростанций. В конце 1916 г. мощность Петербургской электростанции «Общества электрического освещения 1886 г.» приближалась к 50 тыс. кВт [13].

Среди районных электростанций в начале XX в. большое значение приобрели гидроэлектростанции, особенно в США, Франции, Италии, Швеции, Норвегии. В США, в частности, удельный вес гидроэлектроэнергии в общем производстве электроэнергии составил в 1912 г. 32% [10]. Тепловые электростанции часто служили лишь резервом для работы во время маловодья. Исключение представляла Германия, где преобладали

паровые станции, располагавшиеся вблизи залежей бурого угля [14, с. 600].

Но хотя преимуществами централизованной выработки электроэнергии стали очевидными еще в конце XIX в., укрупнение электростанций было процессом постепенным. Наряду с мощными «фабриками электричества» долгое время продолжали существовать многочисленные мелкие электростанции. Они отпускали энергию потребителям через кабельные и воздушные сети на генераторном напряжении. Например, многие гидроэлектростанции Швеции и Норвегии, снабжавшие энергией близлежащие (на расстоянии не более 4—5 км) электрохимические и электрометаллургические заводы, не имели повысительных трансформаторов и работали при напряжении от 3 тыс. до 11 тыс. В [15, с. 89]. Перед первой мировой войной Лондон, например, получал электроэнергию от многих десятков электростанций [16].

Тенденция централизации электроснабжения отчетливо проявилась и в русских условиях. Раньше всего централизация началась в Москве и прилегающих к ней промышленных пригородах. Малоэкономичные мелкие станции поглощались Московской центральной станцией «Общества электрического освещения 1886 г.» за 17 лет, с 1897 по 1913 г., в Москве закрылось 286 блок-станций. Но разобщенность работы мелких электростанций не была преодолена на протяжении многих лет.

Следующим шагом на пути концентрации производства электроэнергии было объединение отдельных станций в параллельно работающие. Сама идея объединения генераторов электрической энергии возникла еще в период господства постоянного тока. Включение на параллельную работу электростанций постоянного тока не представляло затруднений, если эти станции имели одинаковое напряжение и находились недалеко одна от другой. Но при некотором удалении низкое напряжение не позволяло соединить станции непосредственно линией передачи постоянного тока. В таких случаях прибегали к преобразованию постоянного тока в переменный повышенного напряжения, вводя двигатель-генераторные или, как их тогда называли, мотор-генераторные агрегаты [17].

Объединение трехфазных электростанций сопровождалось преодолением серьезных технических трудностей, из которых самой существенной было соблюдение синхронной работы генераторов. На ранних электростанциях переменного тока все генераторы работали изолированно, питая каждый свою группу потребителей. Но уже к 90-м годам прошлого века относятся попытки создать условия для параллельной работы; так, в 1896 г. на Охтинской гидроэлектростанции (Петербург) инженеры В. Н. Чиковел и Р. Э. Класон разработали синхронизирующее устройство для включения на параллельную работу двух генераторов [18].

Одно из первых объединений двух станций трехфазного тока было проведено в 1892 г. в Швейцарии: электростанций в Гладфельдене (мощностью 120 кВт·А) и в Гохфельдене (360 кВт·А), соединенных двухкилометровой линией напряжением 5 кВ [1, с. 597]. Лишь после 1900 г. с возникновением районных станций объединение электростанций стало заметным. К этому времени вполне определились преимущества совместной работы: возможность уменьшения резерва питания на каждой электростанции в отдельности и ремонта оборудования без отключения основных потребителей, а также создание условий для выравнивания графика нагрузки.

<sup>6</sup> Ленинский сб., т. XXVI, с. 281.

Все это позволяло более эффективно использовать энергетические ресурсы.

В 1905 г. в США работали три крупные энергетические системы: Южно-Калифорнийская (компания Эдисона), в районе Сан-Франциско и в штате Юта. Мощность системы компании Эдисона составляла 12 тыс. кВт; она объединяла четыре гидравлические и четыре тепловые электростанции. К 1914 г. энергосистема четырех южных штатов США (Джорджия, Северная Каролина, Южная Каролина и Теннесси) объединяла электростанции суммарной мощностью 230 тыс. кВт. В Германии действовала Рейнская система, превратившаяся позднее в Рейско-Вестфальскую — одну из самых крупных в мире [1, с. 597]. В России до Великой Октябрьской социалистической революции имелись две небольшие системы; одна находилась на Апшеронском полуострове в районе Бакинских нефтяных промыслов, другая объединяла Московскую городскую станцию и станцию «Электропередача».

Совместная работа электростанций вызвала к жизни идею диспетчерского их управления. В этом отношении показательно уже первое объединение для параллельной работы станций в Глэдфельдене и в Гохфельдене (Швейцария); было принято общее управление работой генераторов со штаба управления станции в Гохфельдене. При диспетчерских пунктах развивались специальные службы: релейной защиты, контроля изоляции, грозозащиты и др.

#### 4. ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ПЕРЕДАЧИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ВЫСОКИМ НАПРЯЖЕНИЕМ

Развитие техники электропередачи после 1891 г., т. е. после сооружения первой линии высокого напряжения трехфазного тока между Лауфеном и Франкфуртом, характеризовалось непрерывным ростом напряжения, мощности и протяженности линий передачи. Для повышения этих параметров возникла необходимость в решении новых, все более сложных научных и инженерных задач. Конструкции электрических машин, трансформаторов, линейных устройств и коммутационной аппаратуры — все претерпевало существенные изменения при переходе на более высокие уровни напряжения.

Техника трехфазного тока в начале 90-х годов прошлого столетия во многом опиралась на предшествовавший опыт сооружения установок постоянного тока. Еще в 70—80-х годах были осуществлены первые опыты электропередачи на генераторном напряжении до 6 кВ. Наибольшего успеха в создании передач постоянного тока достиг швейцарский инженер Ренз Тюри. Его схема представляла собой линию высокого напряжения между двумя системами последовательно соединенных машин — генераторов и двигателей. Первая установка Тюри была осуществлена в Генуе в 1889—1893 гг. при напряжении 5—6 кВ, а позднее при 10 и даже 14 кВ, длина линии составляла 60 км. Самой значительной из передач системы Тюри была линия Мутте—Лион протяженностью 180 км, введенная в эксплуатацию в 1906 г. при напряжении 57 кВ; позднее напряжение было увеличено до 125 кВ. Установка проработала до 1937 г. и только тогда была заменена трехфазной [20, 21].

Борьба за повышение напряжений трехфазных установок началась в 90-е годы и охватила все звенья высоковольтных устройств. В середине 90-х годов линии передачи строили на напряжениях до 10 кВ, к концу столетия в Америке передавался ток напряжением 50—60 кВ. В США раньше, чем в других странах, входили в жизнь новые уровни напряжений: в 1902 г. — 80, в 1907 г. — 110, в 1912 г. — 140 кВ. Дальность передачи на линии Кольейт—Сан-Франциско достигла 350 км. В Европе показательные высоковольтные линии на юге Франции. Начиная с 1900 г. для электроснабжения южных провинций Франции было построено несколько тепловых и гидравлических электростанций, которые в 1906 г. были объединены в систему с 18 станциями (из них 8 ГЭС). Длина линий по уровням напряжения распределялась следующим образом: 600 км — 50 кВ; 350 км — 30 кВ, 200 км — 10—11 кВ [14, с. 606].

#### 5. РАЗВИТИЕ ОСНОВНОГО ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Одним из важнейших элементов электроэнергетической установки является трансформатор. Развитие этого аппарата зависело от роста мощностей и напряжений линий электропередачи. Как уже отмечалось, конструкции первых трансформаторов стержневого и броневого типа были разработаны в 70-х годах XIX в.

Первые конструкции трансформаторов были несовершенны, имели большое магнитное рассеяние, так как их первичная и вторичная обмотка располагалась на разных сердечниках магнитопровода. Дальнейшие поиски рациональных конструкций трансформаторов были направлены на уменьшение магнитного рассеяния (прежде всего путем концентрического расположения обмоток), улучшение междувитковой изоляции, разработку систем охлаждения и т. д. На рубеже 80-х — 90-х годов были сделаны попытки использовать для охлаждения и изоляции обмоток минеральное масло. В течение первых двух десятилетий текущего столетия преимущественное распространение в американских установках получили трехфазные группы из однофазных трансформаторов, а в европейских — трехфазные масляные трансформаторы стержневого и броневого типа с охлаждением циркулирующей водой [15, с. 89; 22].

Стержневой и броневого типы трансформаторов сохранились до настоящего времени, причем первый получил преимущественное распространение. В качестве материала обмоток использовали почти исключительно полосу медь прямоугольного сечения. Иногда, как это было в Германии во время первой мировой войны, строили трансформаторы мощностью до 60 тыс. кВт с алюминиевой обмоткой. В целом совершенствование обмоток трансформаторов заключалось в повышении их механической и электрической прочности, теплостойкости, экономичности и улучшении технологических способов изготовления.

Претерпела существенные изменения одна из важнейших конструктивных деталей трансформаторов — вводы высокого напряжения. Для сравнительно невысоких напряжений, порядка 35 кВ, различные фирмы, такие, как «Westinghouse» и некоторые другие, обычно применяли фарфоровые конструкции. Для более высоких напряжений, начиная с 50—60 кВ,

наиболее распространенными были две разновидности: конденсаторные вводы и пустотелые с масляным наполнением. Конденсаторные вводы были предложены в Германии в 1906 г. [23].

В трансформаторостроении большую роль играло уменьшение размеров и веса аппаратов. В этом отношении характерны такие показатели: если в 1900 г. масляный трансформатор мощностью 1200 кВ·А весил 18 100 кг, то в 1920 г. этот же тип аппарата той же мощности весил 7550 кг, т. е. его вес составлял всего 41,7% по отношению к образцу 1900 г. [1, с. 604].

С ростом мощностей электрических станций все более усложнялась задача отключения рабочих токов, особенно токов коротких замыканий. Используявшиеся для отключения особые высоковольтные устройства — выключатели прошли длительный путь развития. Простейшие коммутационные устройства появились примерно в 20-х годах XIX столетия. Это были металлические стержни, опущенные в сосуды со ртутью. Такими переключателями пользовались Д. Генри и А. М. Ампер (экормисоло Ампера) для изменения направления тока в электрических цепях. Принципы ртутных контактов сохранились в выключателях до начала 90-х годов уже в связи с энергетическими применениями электричества. Подобные аппараты действовали, например, на электростанции в Риме, работавшей на линии передачи напряжением 2 кВ при токе 200 А. Будапештская фирма «Ганц и К°» строила выключатели с ртутными контактами для напряжений до 10 кВ. Но ртутные контакты были неудобными: устройства получались громоздкими, нетранспортбельными, не обеспечивали надежного отключения [24].

В 90-х годах появились конструкции с подвижными контактными элементами, среди которых автоматический выключатель М. О. Доливо-Добровольского (1893 г.) отличался оригинальностью пластинчатых пружинящих контактов. До тех пор, пока напряжение электрических установок не превышало 15 кВ, а токи 300 А, применение подобных аппаратов было допустимо без специальных средств для гашения дуги. Однако повышение напряжения до 22 кВ, как это было, например, на Ниагарской гидроэлектростанции в 1901 г., вызвало настоятельную потребность в выключателях, в которых бы обеспечивался надежный разрыв дуги с помощью дополнительных дугогасительных средств. Одним из первых дугогасительных приспособлений, получивших широкое признание, стали роогообразные контакты, примененные первоначально в грозозащитных разрядниках. Массивные рога способствовали быстрой деионизации дугового промежутка. Выключатели с роогообразными контактами, запатентованной фирмой «Brown, Boveri & C°» в 1897 г. долго использовались в электротехнике. Для ускорения прерывания дуги стали применять также магнитное дутье искусственно создаваемым магнитным полем. Этот принцип дугогашения также был заимствован из практики грозозащиты — разрядники с магнитным гашением были предложены Н. Томсоном и широко применялись в 90-е годы для защиты установок постоянного тока [25].

По мере роста мощности установок возникло новое затруднение: дуга, свободно поднимавшаяся по роговым электродам, распространялась на весьма значительные расстояния и угрожала безопасности расположенного вблизи оборудования. Предохранительное средство предложил М. О. Доливо-Добровольский: на пути дуги устанавливали поперечные перегородки из изоляционного материала. Дуга, изгибаясь вокруг ниж-

них кромок пластины, удлинялась, сопротивление дугового промежутка возрастало, дуга быстрее деионизировалась. В 1912 г. Доливо-Добровольский внес еще одно перспективное предложение: устанавливать на пути дуги решетку из металлических пластин — так называемую искрогасительную решетку. Это изобретение до настоящего времени широко используют во многих видах коммутационной аппаратуры: контакторах, рубильниках, разъединителях [26].

Однако выключатели с открытой дугой в воздухе не могли полностью решить задачу надежного отключения больших токов короткого замыкания. Поэтому параллельно с развитием этого вида аппаратов начиная с 90-х годов не прекращались попытки создать плавкие предохранители и выключатели с использованием высоких электроизоляционных свойств минеральных масел. Первые конструкции масляных предохранителей и выключателей, созданные Н. Томсоном в Америке и С. Ферранти в Англии, представляли собой устройства, в которых контакты разрывались в воздухе с последующим отводом подвижного контакта под слой масла.

Следующим шагом в развитии масляных выключателей было разделение функций рабочих и дугогасительных контактов. В 1898 г. Ч. Броун разработал конструкцию, в которой на каждую фазу приходилось по два рабочих и по четыре дугогасительных контакта. Процесс гашения дуги в таком аппарате ускорился, а допустимая разрывная мощность значительно возросла благодаря ряду существенных особенностей: дугогасительные контакты, разбивая дугу на несколько коротких дуг, находились глубоко под слоем масла и быстро разводились сильными пружинами. В 1898 г. подобного типа выключатели были построены в Америке инженером Э. М. Хьюлеттом. Они приближались к современным видам масляных выключателей, хотя первые конструкции не имели специальных дугогасительных камер. Гашение осуществлялось в результате увеличения расстояния между расходящимися контактами. Но это увеличение не могло быть беспредельным, и в то время как напряжения и мощности электрических установок продолжали повышаться, габариты выключателей и объем масла недопустимо возрастали. Возникла потребность в новых дугогасящих средствах, первым из которых стало газомасляное дутье, создаваемое в специальных дугогасительных камерах. В 1908 г. американские инженеры Д. Хиллард и Ч. Парсонс построили масляный выключатель с газомасляной камерой продольного дутья. В дальнейшем принцип газомасляного дутья прочно утвердился в выключателестроении.

В 90-е годы XIX в. и в начале XX в. появилось еще несколько принципиально новых устройств для разрыва дуги, таких, как водяные, трубчатые, автовозвратные и, наконец, воздушные выключатели, но они не получили в первые два десятилетия XX в. сколько-нибудь широкого признания и практического применения.

В начальный период развития силовоточной техники представлялась более удобной передача электрического тока по проводам с помощью кабельных подземных линий. Полагали, что подземная проводка обезопасит электрические сети от механических повреждений и атмосферных помех и не будет портить внешнего вида городов. Начиная с 1880 г. предпринимались попытки проложить силовые кабели, рассчитанные на напряжение до 200 В. Предварительный многолетний опыт эксплуатации телеграфных линий лег в основу построения первых силовоточных кабелей. В качестве

изоляция использовали гуттаперчу и пропитанный джут. В 1882 г. Т. А. Эдисон разработал специальную конструкцию кабеля и кабельной муфты для сети первой центральной электрической станции в Нью-Йорке. В 1884 г. в Вене был проложен кабель с рабочим напряжением 2 кВ.

В конце 80-х и начале 90-х годов в кабельной технике произошли решающие изменения благодаря вводу нового вида изоляционного материала: пропитанной бумаги взамен джута. Бумажная изоляция позволила повысить напряжение силовых кабелей с 2 до 10 кВ. Для увеличения механической прочности и герметичности силовые кабели, так же как и кабели связи, стали покрывать свинцовой оболочкой. В 1908 г. появились первые трехжильные кабели на напряжение 20 кВ с поясной изоляцией и вязкой пропиткой. Такой кабель был проложен в Баку (работает до настоящего времени). В 1910 г. в Германии между Дессау и Биттерфельдом впервые был проложен одножильный кабель на напряжение 60 кВ [14, с. 606]. Более широкое распространение силовых высоковольтных кабелей (на напряжение 35 кВ) началось лишь после окончания первой мировой войны.

Кабельная техника развивалась в тесном взаимодействии с научными исследованиями электрического поля. Разработкой теории электрического кабеля занимался русский физик П. Д. Войнаровский. В 1913 г. Хохштедтер (Германия) на основе теоретических разработок предложил конструкцию кабеля с экранированными жилами. Экранирование жил позволило в 1918—1919 гг. начать изготовление трехжильных кабелей на напряжения до 60 кВ. Однако по мере роста электрических распределительных сетей преимущественное распространение получили более дешевые воздушные линии.

Изоляция воздушных линий электропередач вначале была целиком заимствована у телеграфных линий. Первоначально это были штыревые, стеклянные или фарфоровые колоколообразные изоляторы. На рубеже 80—90-х годов потребовалось усиление изоляции: специальную выемку в штыревых изоляторах заполняли маслом — так возникли фарфорово-масляные изоляторы. Эмпирически была определена их наиболее рациональная конструктивная форма — с длинными и тонкими фарфоровыми юбками типа «Дельта» (Германия). Этот изолятор мог быть использован для напряжений 60—70 кВ. Но в начале XX в. при строительстве высоковольтных трасс на одно из первых мест снова выдвинулась проблема линейной изоляции. Недостаточная механическая и электрическая прочность штыревых изоляторов ограничивала пропускную способность электропередач. Благоприятный выход нашел в 1906 г. Хьюлетт: он разработал конструкцию подвесных фарфоровых изоляторов, что позволило резко увеличить напряжение электропередач. В 1908—1912 гг. с применением подвесных изоляторов были сооружены первые линии на напряжение 110 кВ в США, а позднее и в Германии. Область применения штыревых изоляторов, как правило, стала ограничиваться 60 кВ и ниже.

Другое затруднение на пути введения высоких напряжений возникло в связи с явлением короны на высоковольтных проводах. Коронирование сопровождалось значительной потерей энергии. Первые попытки экспериментально определить потери энергии на корону были предприняты американским исследователем Ч. Скоттом в 1898 г. в линии электропередачи напряжением 20 кВ. Дальнейшие теоретические и экспериментальные

исследования в 1910—1914 гг. проводили В. Ф. Миткевич в России, Ф. Пик в Америке, Г. Капп в Англии. Результаты этих исследований показали, что уменьшить потери на корону можно, увеличив действительный, или «электрический», диаметр провода. Этот вывод послужил основой для широкого распространения сталеалюминевых и алюминиевых проводов, поскольку при равной проводимости диаметр этих проводов оказывался больше, чем медных. Использование алюминия было впервые предпринято в США на электрической установке Ниагары в конце 90-х годов прошлого столетия [27—29]. К 1910 г. алюминиевые провода получили довольно широкое распространение.

В конце первого десятилетия XX в. стали применять медные провода с пенковой основой — предвестники полых проводов, также используемых для уменьшения потерь на тихий разряд. Вывод о рациональности увеличения диаметра проводов привел В. Ф. Миткевича (1910 г.) к идее расщепленных проводов, распространенных в современных электропередачах сверхвысоких напряжений [30].

Одновременно с сооружением первых электрических установок возникла проблема борьбы с перенапряжениями. Реальную опасность представляли перенапряжения, индуктируемые в воздушных проводах при близких грозовых разрядах. Исторически первыми средствами защиты от атмосферного электричества были приспособления, заимствованные из практики грозозащиты зданий и телеграфных линий связи: заземленные тросы, стержневые молниеотводы и снабженные плавкими вставками телеграфные громоотводы, являющиеся прототипом разрядников. В 90-е годы появилось много видов грозозащитных аппаратов, основанных на различных принципах действия: водоструйные заземлители, постепенно снижавшие перенапряжения электростатического происхождения; разрядники с искровым промежутком и принудительным гашением дуги, катушки самондукции, предложенные английским физиком О. Лоджем в качестве фильтров для импульсных токов молнии и др. При конструировании разрядников наиболее сложная задача заключалась в надежном гашении дуги сопровождающего тока, величина которого стремительно росла вместе с повышением мощностей электрических станций. Много изобретательности и неудачных попыток ученых и инженеров различных стран было связано с созданием разрядников. В 1891 г. И. Томсон предложил конструкцию с многократным разрывом дуги — принцип, нашедший полное признание лишь в 20—30-е годы XX в. при одновременном использовании в разрядниках токоограничивающих сопротивлений с вентильными свойствами. Начиная с 1896 г. самым распространенным видом разрядника становится роговой громоотвод, предложенный немецким электротехником Э. Ольшлегером. К 1900 г. он завоевал почти полную монополию в сетях напряжением до 10 кВ. Благодаря многочисленным усовершенствованиям роговых разрядников этот тип грозозащиты надолго удержался в европейских сетях напряжением до 50—60 кВ [31]. Америка пошла по другому пути. Начиная с 1907 г. там распространились алюминиевые разрядники, отвечающие требованиям работы сетей напряжением 100—150 кВ. Разрядник не обладал безупречными характеристиками и надежностью действия и явился лишь временной защитной мерой (до начала 20-х годов) [32].



В течение двух первых десятилетий XX в. не прекращались поиски новых средств защиты от перенапряжений, в том числе обследовалась эффективность грозозащитных тросов — теория тросовой защиты была выдвинута немецким ученым В. Петерсеном в 1914 г. Проверялись защитные свойства высоковольтных конденсаторов и катушек индуктивности. В целом защита от перенапряжений оставалась нерешенной проблемой. Предохранение от прямых ударов молнии считалось совершенно невозможным. Это объяснялось малой изученностью молнии и процессов распространения воли перенапряжений по проводам, а также быстрым моральным старением защитных средств, развитие которых не поспевало за стремительным ростом напряжений и мощностей электрических установок. Положение усугублялось тем, что в мощных сетях проявлялись коммутационные перенапряжения. Техника защиты попала по ложному пути совмещения в одном аппарате функций защиты от атмосферных и от внутренних перенапряжений [25, с. 35—49].

Средства защиты от сверхтоков также прошли длительный путь развития, прежде чем стать специальной отраслью — релейной защитой. Предохранение от токов коротких замыканий первоначально было довольно примитивным. До конца 90-х годов XIX в. практически единственным средством защиты электрооборудования от чрезмерно больших токов была плавкие предохранители. Это были надежные устройства, применявшиеся на напряжениях до 6 кВ. Однако плавкие предохранители не могли обеспечить селективного отключения поврежденных участков сети, а также справиться с прерыванием больших токов в мощных сетях, ограничивая тем самым рост мощности электрических установок.

На смену плавким предохранителям пришли реле. Еще в 90-х годах стали применять сначала максимальные автоматические выключатели, а затем максимальные электромагнитные реле, которые настраивали на определенные значения тока. Превышения установленного тока при авариях вызывали срабатывание реле, подающего сигнал на отключение поврежденного участка. Защита совершенствовалась. В начале 900-х годов появились несколько типов реле: токовые, напряжения, направления мощности [33]. Но пока вопросы правильного согласования значений тока, напряжения и выдержек времени были мало изучены и им не придавалось еще нужного значения, происходили частые неселективные срабатывания. В первом и в начале второго десятилетия XX в. зародились новые направления релейной защиты: устройства, основанные на применении нелинейных элементов электрических цепей, и прежде всего насыщенных стальной. Так, в 1911 г. в Америке были применены быстронасыщающиеся трансформаторы, изменяющие соответствующим образом время срабатывания реле.

## 6. ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ НА ЭНЕРГОМАШИНОСТРОЕНИЕ

Одним из основных направлений в развитии электроэнергетики с введением в жизнь трехфазной системы токов становится применение все более мощных генераторов электрической энергии. На электрических станциях основным видом источника переменного тока делается синхронный генератор с приводом от паровой или гидравлической турбины [34].

Сам термин «синхронная машина» был введен Ч. П. Штейнмецем. Уже в конце XIX в. были разработаны конструкции роторов, которые лежат в основе современных типов синхронных генераторов с явно выраженными полюсами в тихоходных машинах, а также в виде цилиндрического ротора с неявно выраженными полюсами в быстроходных машинах.

Первые синхронные генераторы, приводимые в действие паровыми машинами или двигателями внутреннего сгорания через ременную передачу, работали с малым числом оборотов; окружная скорость ротора для таких машин составляла не более 15—25 м/с. С ростом мощности электрических генераторов повышалось требование равномерности вращения, что не обеспечивалось ни паровой машиной, ни двигателями внутреннего сгорания с их пульсирующим движением поршня и кривошипно-шатунным механизмом. В связи с этим в начале 90-х годов были разработаны специальные генераторы маховикового типа, в которых для уменьшения неравномерности хода была увеличена инерция вращающихся частей. В этих генераторах вращающиеся индукторы одновременно играли роль маховиков для первичного двигателя. Первичные поршневые двигатели накладывали определенные ограничения на конструкции синхронных генераторов: их приходилось строить с большим числом полюсов, что, в свою очередь, увеличивало расход активных материалов и потери энергии в машине. Таким образом, хотя паровая машина к концу XIX в. достигла высокой степени совершенства, она не годилась для привода мощных электрических генераторов, так как не позволяла сконцентрировать большие мощности в одном агрегате и создать требуемые высокие скорости вращения. На смену паровым машинам пришли паровые турбины. Первоначально использовали сравнительно тихоходные турбины конструкции шведского инженера Г. П. Лавалля [35].

Положение кардинально изменилось лишь тогда, когда в качестве первичных двигателей стали применять быстроходные паровые турбины и на их основе возник совершенно новый тип синхронных генераторов. В 1884 г. Ч. Парсонс изобрел реактивную паровую турбину, предназначенную специально для электростанций. Для того чтобы этот быстроходный двигатель насадить без промежуточного редуктора на один вал с электрическим генератором, имевшим значительно меньшую оптимальную скорость, Парсонс разработал многоступенчатую турбину. Дальнейшее совершенствование турбины Парсонса шло неразрывно с развитием генераторов: возник единый агрегат — турбогенератор [2, с. 60—62]. Некоторое время создавались турбогенераторы постоянного тока, предельная мощность которых достигла 2000 кВт при 1500 об/мин. Постепенно они были вытеснены турбогенераторами, вырабатывавшими переменный ток. Большие скорости вращения сказались на конструктивном выполнении обмоток генераторов: первоначально роторы строили с явно выраженными полюсами, но возросшая механическая нагрузка и большие потери на трение о воздух заставили перейти к распределенной обмотке возбуждения. Уже в 90-х годах турбина Парсонса получила широкое распространение в Англии, а ее применение на Европейском континенте несколько задержалось, несмотря на то что в 1895 г. фирма «Westinghouse», а годом позже фирма «Brown, Boveri & Co» приобрели право на строительство турбин Парсонса [36, с. 62]. Перелом произошел в 1899 г., когда Парсонс выполнил заказ на две крупные по тому времени турбины для приво-

да генераторов трехфазного тока мощностью по 1250 кВт для альберфельдской электростанции (Германия).

Успехи в области турбогенеростроения сказались весьма отчетливо уже в первом десятилетии XX в. Так, если в 1904—1906 гг. максимальная мощность отдельных турбогенераторов составляла 1250 кВт при 3000 об/мин и 6300 кВт при 1000 об/мин, то в 1913 г. она соответственно возросла до 6250—29 500 кВт [37, с. 231—232]. Показателем качественного изменения турбогенераторов могут служить данные о снижении их веса на единицу мощности: турбогенератор мощностью 5000 кВт, построенный в США фирмой «General Electric» в начале XX в., весил 102 т, а в 1920 г. турбогенератор той же мощности — всего 21 т. Значительное снижение веса сопровождалось повышением надежности и экономичности машин, что было достигнуто использованием более высококачественных конструктивных магнитных и изоляционных материалов, совершенствованием технологии изготовления деталей и разработкой более эффективных способов охлаждения обмоток ротора и статора. Первое предложение о непосредственном охлаждении обмоток относится к 1909 г. Все это вместе взятое позволяло увеличивать мощности турбогенераторов.

Стремление к увеличению единичной мощности турбогенераторов объяснялось существенными преимуществами мощных машин: уменьшался вес на 1 кВт, сокращалась площадь для установки агрегатов и число обслуживающих людей. Тенденция увеличения мощности в одном агрегате, характерная для турбогенеростроения, полностью совпадала с общей направленностью в развитии электроэнергетики — стремлением применять на электростанциях немногие, но все более крупные единицы, что существенно упрощало и удешевляло оборудование.

С 80-х годов XIX в. начинается использование вместо гидромеханических установок гидроэлектрических станций с двигателями нового типа — водяными турбинами.

В 1882 г. была построена первая американская гидроэлектростанция. Генераторы, приводимые в действие гидравлическими турбинами, опирались на тихоходным машинам. Ротор таких генераторов можно было укреплять на одном валу с рабочим колесом турбины. Из-за относительно низких скоростей вращений гидрогенераторы по своим размерам и весу были больше других электрических машин. Их изготовление всегда было сопряжено с большими техническими и производственными трудностями. Одно из ценных качеств водяных турбин состояло в экономном расходовании воды. С момента использования на гидроэлектростанциях турбин в качестве первичного двигателя их проектирование и установка согласовались с параметрами водотока и характером гидросооружения [38]. Поэтому при строительстве гидрогенераторов эти параметры являлись основополагающими при проектировании, а сами агрегаты часто были уникальными. Весьма показательное развитие турбин Н. Ж. Жюналя (Франция). Первые образцы горизонтальных осевых (в современной терминологии) турбин появились в конце 40-х годов XIX в. Это были турбины Жюналя мощностью порядка 140 л.с. За сорок лет (к 1890 г.) их максимальная единичная мощность не поднялась выше 500 кВт. Использовались они для привода рабочих машин, расположенных в непосредственной близости от турбин, через зубчатые передачи или ременные и канат-

ные трансмиссии. Предельные допускаемые нагрузки на передаточные устройства ограничивали максимальную мощность турбин Жюналя. После 1891 г., когда стала возможной передача энергии трехфазным током на значительные расстояния и стали постепенно переходить на прямое соединение турбины с генератором, мощности турбин Жюналя стремительно возросли и приблизились в 1900 г. к 1200 кВт.

На первых станциях устанавливали самые разнообразные гидравлические двигатели. Так, Лауфен-Франкфуртская передача получала энергию от оригинального двигателя, напоминавшего турбину Жюналя; ее гидрогенератор имел мощность 300 л.с. и работал на токе 55 В и 30—40 Гц. На Рейнской станции использовали турбины Жюналя, на станции в Касселе (Германия) — турбины Кюппа. Наиболее подходящей по мощности, скорости и удобству монтажа и эксплуатации из всех конструкций, появившихся в 80-х годах XIX в., оказалась реактивная радиально-осевая турбина Д. Б. Френсиса [39].

В процессе развития радиально-осевые турбины приспособились ко все большему напору. В 1906 г. предельный для них был напор около 50 м, в 1910 г. — 150 м, в 1920 г. — 210 м. Мощности их также быстро увеличивались вместе с ростом мощностей гидроэлектростанций. Так, мощность указанного типа турбин в 1900 г. составляла 1000—1200 кВт, а в 1910 г. — 8000—40 000 кВт [40].

Для Ниагарской ГЭС, в частности, в 1903—1913 гг. поставляли турбины мощностью 11 390 л.с. с числом оборотов 187,5 в минуту при напоре 53,4 м и расходе воды 20 м³/с. Во втором десятилетии XX в. единичные мощности радиально-осевых гидравлических турбин выросли до 20 000 кВт [41].

В первом десятилетии XX в. в странах Европы и Америки приступили к использованию энергии более мощных, в том числе и равнинных рек. Это потребовало повышения быстроходности и пропускной способности турбин. Удовлетворение потребности в быстроходности стало основным в гидроэнергостроении и было достигнуто разработкой новой системы осевых реактивных турбин — поворотно-лопастных. Подобные конструкции были созданы профессором высшей школы в Брю В. Капланом после их длительного исследования на моделях с 1912 по 1916 г. Он коренным образом изменил форму и конструкцию рабочего колеса и добился резкого повышения быстроходности и пропускной способности турбин с вращающимися лопастями.

В 80-е годы была признана еще одна конструкция, непосредственно связанная с электростанциями, колесо Л. А. Пельтона (1880 г., Америка) [36, с. 59]. Это была тангенциальная активная турбина, работавшая за счет живой силы струи, направленной на ковшеобразные лопатки (в СССР эти турбины получили название ковшевых). Первая трехфазная передача в США в Рединде (Калифорния) была осуществлена с помощью колес Пельтона (мощность установок 400 л.с.). Вторая передача в Калифорнии (15 км, 10 000 В) также имела колесо Пельтона, передававшее генератору мощность 250 л.с. Вслед затем новые турбины распространились в Европе и стали изготавливаться европейскими заводами [37, с. 264, 265]. Их основное преимущество состояло в возможности необычайно широкого применения при больших напорах водотока и в большом диапазоне мощностей.

ТЕХНИЧЕСКОЕ ПЕРЕВООРУЖЕНИЕ  
ГОРНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ1. ИЗМЕНЕНИЕ В ТЕХНИКЕ ДОБЫЧИ  
ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Турбины Френсиса и Пельтона надолго утвердились в гидроэлектростроительстве. Вместе с эволюцией турбинной части совершенствовались и гидрогенераторы как единый агрегат. Применяли две основные конструкции гидрогенераторов: с горизонтальным валом для скоростей вращения более 200 об/мин и вертикальным валом для меньших скоростей. Вертикальные гидрогенераторы стали применять преимущественно для больших мощностей, и уже в конце прошлого столетия были известны два основных конструктивных типа: подвесной и зонтичный. В подвесном подпятник находился над ротором, в зонтичном — под ротором. Зонтичный гидрогенератор был разработан еще в начале 90-х годов XIX в., но наибольшее распространение в первых двух десятилетиях XX в. получил подвесной тип. Эта конструкция была более надежна и больше подходила для гидроэлектростанций, строящихся на горных реках и водопадах с большими напорами при относительно малых расходах воды. Впоследствии для ГЭС на крупных равнинных реках стали предпочитать гидрогенераторы зонтичного типа.

Стремительное развитие электротехники и электроэнергетики, начавшееся на рубеже XIX—XX вв., сопровождалось повышением технического уровня мирового электрохозяйства и улучшением его эксплуатационных показателей. В результате существенно снизилась себестоимость электроэнергии, заметно увеличилось число часов использования установленной мощности электростанций. К началу первой мировой войны производство электроэнергии во всем мире составляло примерно 35—40 млрд. кВт·ч [10]. Это создавало реальные предпосылки для массовой электрификации промышленности, транспорта и быта во всех передовых в техническом отношении странах.

Развитие тяжелой промышленности увеличило спрос на разнообразную продукцию горной промышленности, добычу которой невозможно было повысить без механизации, без совершенствования технических средств. Так, для угольной промышленности развитых капиталистических стран была характерна концентрация производства, выразившаяся в создании крупных синдикатов и заводов горного машиностроения, в каждом из которых было занято значительное число рабочих (например, Гользенкирхенское горное объединение — 46 тыс. рабочих). Крупные объединения способствовали созданию новой горной техники. По мере развития тяжелой индустрии повышался спрос на продукты горной промышленности. Если в 1870 г. во всем мире было добыто 213 млн. т каменного угля, то в 1913 г. добыча его составила 1342 млн. т, а добыча железной руды возросла соответственно с 30,2 млн. т до 176,7 млн. т.

Быстро увеличивалась добыча цветных и драгоценных металлов. За тот же период стоимость мировой продукции горного дела возросла в 8 раз.

К 70-м годам XIX в., хотя и были достигнуты определенные успехи в развитии горной техники, добыча полезных ископаемых велась ручным способом. Врубовые машины, предназначенные для зарубки угольных пластов, имели единичное применение. Наиболее благополучно обстояли дела с бурением шпуров, хотя и здесь были свои трудности.

Появившиеся в середине XIX в. на проходке тоннелей поршневые перфораторы были весьма громоздкие и монтировались на станках. Возможность применения их в шахтах и рудниках была весьма ограниченной.

В конце XIX в. получили распространение перфораторы молоткового типа. В 1897 г. Георг Лейпер создал портативный молотковый перфоратор, который вытеснил старые — поршневые. Молотковые перфораторы применяли в США и Европе не только при проходке тоннелей, но и при работах в шахтах и рудниках. По своей конструкции они близки к современным отбойным молоткам.

Помимо машин ударного действия, были известны также машины вращательного действия, появившиеся в середине прошлого столетия в Чехословакии и успешно работавшие там на бурении известняков. Во второй половине XIX в. машины этого типа начали применять в каменноугольных рудниках многих стран Западной Европы (бур-сверло инженера Лисбе), а также в России (перфораторы Эллиота и Рачета) [12].

С помощью ручного вращательного бора Лисбе легко бурились шпур в угольных сланцах любой крепости. Однако при сверлении крупнозернистых песчаников бур Лисбе уступал ударным перфораторам.

Перфоратор Рачета отличался легкостью (16 кг), компактностью и дешевизной, но при работе в более или менее крепких породах легко ломался. Конструкция перфоратора Эллиота была более совершенной, его можно было использовать для более крепких пород и с большей производительностью, чем перфоратор Рачета.

Недостатком перечисленных машин был ручной привод, поэтому уже со второй половины XIX в. начинают появляться идеи вращательного бурения с помощью гидравлического привода. Первые испытания машин с гидравлическим приводом (машина Брандта, 1864 г.) проводили при сооружении Сен-Готардского тоннеля, а с 1877 г. их стали применять при сооружении Зопштейнского тоннеля у Траунзее, Брандфельдского — в Тюрингии, Арльбергского — в Швейцарии, Сурамского — на Кавказе и во многих рудниках [3, с. 46].

Вращательные бурильные машины имели некоторые преимущества по сравнению с ударными: для получения буровой скважины определенного диаметра вырабатывалась только кольцевая скважина небольшой объема; машина могла работать непрерывно, а при ударном бурении требовалось дополнительное усилие на холостой обратный ход поршня и резца; вращательная машина работала спокойно, ударная же сильно сотрясала станцию, на которой она крепилась; вращательная бурильная машина могла бурить скважину большего диаметра, следовательно, на требуемую площадь выработки приходилось меньше скважин. Преимуществом ударных бурильных машин перед вращательными была возможность одновременно с работой вентилировать воздух выработки.

В конце 70-х годов XIX в. в Европе начали появляться бурильные машины с электрическим двигателем. Первая такая машина демонстрировалась на Парижской выставке 1881 г.

В качестве взрывчатого вещества использовали динамит, производство которого было начато еще в 1863 г. шведским инженером А. Нобелем на базе работ русских ученых Н. Н. Зинина и В. Ф. Петрушевского. Патент на взрывчатые вещества, названные «динамитами», А. Нобель получил в 1867 г. в Англии.

Первоначально использование динамитов было возможно лишь с предварительным воспламенением огневодным шнуром небольших пороховых зарядов, рекомендованных Н. Н. Зининым. Однако этот метод воспламенения динамита не позволял использовать всю мощность от взрыва динамитного заряда. Повысить эффект взрывания динамитов удалось применением гремучетурного капсюля-детонатора, изобретенного в том же 1867 г. А. Нобелем. В 1890 г. русские химики, используя работы Д. И. Менделеева по пироколлоиду, создали взрывчатую желатину, которая стала исходным материалом в производстве желатинированных динамитов [4, с. 9].

Особое развитие врубовые машины и механизация зарубки получили в Англии и США. Так, по данным французского инженера Де Ження, изучавшего применение механической зарубки в США в 1900 г., и проф. А. А. Скобянского, посетившего в 1925 г. угольные шахты США и Англии, на шахтах США уже в 1891 г. работало 545 врубовых машин, на долю которых приходилось 6,7% добычи угля, а в 1898 г. число машин возросло до 2622, а добыча соответственно до 20,4% [5, с. 160—163], в 1900 г. — до 3907 и в 1913 г. — до 15 235; в 1913 г. с их применением было добыто 49%

угля [6]. В Англии в 1900 г. работало 314 врубовых машин, а в 1913 г. число тяжелых и легких машин увеличилось до 2897, причем около 30% составляли ударные пневматические врубовые машины. Производительность труда при машинной зарубке угля возросла в два раза по сравнению с ручной. В 1914 г. в шахтах Англии с применением врубовых машин добывали 8,5% угля, шахтах Бельгии — 10%, в США — 50,7%.

Возросший объем механизации зарубки обусловил конструктивные усовершенствования врубовых машин. Были значительно улучшены старые дисковые врубовые машины, они стали более компактными, в качестве передаточного механизма в них начали применять стальной диск (1900 г.), весь механизм машин помещался в удобном закрытом кожухе (1907 г.). Машину монтировали на салазках. Режущий исполнительный орган машины был также усовершенствован, благодаря чему увеличилась глубина зарубки (вруба). С 1900 г. на дисковых машинах начали устанавливать электроприводы. Однако и усовершенствованная дисковая врубовая машина имела ряд серьезных недостатков: трудность удержания машины у груди забоя, зажимания тонкого и широкого диска осаждающимися после подрубки породами, частая поломка зубьев диска и др. Эти недостатки мешали эффективно использовать дисковую врубовую машину в забое, поэтому их начали постепенно заменять более совершенными — штанговыми и ценными врубовыми машинами.

Первая штанговая врубовая машина была создана в Англии еще в 50-х годах XIX в., однако потребовалось тридцать лет, чтобы эти машины получили распространение. В штанговой машине зарубка угля велась режущими зубками, укрепленными на вращающейся штанге. Перемещалась машина вдоль забоя по рельсам. Машины более поздних конструкций стали монтировать на особой раме с широкими полозьями. В 1887 г. появились первые штанговые машины с электроприводом.

Однако и штанговые, и дисковые машины не получили широкого распространения из-за быстрого износа режущих зубков, частая замена которых весьма удорожала эксплуатацию машины. Наибольший интерес в развитии механизации зарубки представляют ценные врубовые машины, где в качестве исполнительного органа служит режущая цепь с зубками. Изобретателем ее, а также конструктором первой цепной врубовой машины был Вильям Пис. Машина имела бар в форме штанги, на конце которого было укреплено колесо. При помощи колеса натягивали цепь или канат, оснащенные режущими зубками, и направляли их движение [7, с. 288]. Первая цепная врубовая машина, которая достигла более или менее удовлетворительных результатов в работе, была сконструирована английским Вильямом Бейрдом в 1864 г. в г. Гартшери (близ Глазго) и была названа «Гартшери». Машина снабжалась поршневым пневматическим двигателем. Сжатый воздух подавался от компрессора, установленного на поверхности. Вдоль забоя устанавливали рельсы, по которым передвигалась машина. Подача осуществлялась храповым механизмом [8, с. 422]. В более поздние модели машины «Гартшери» были внесены значительные усовершенствования. В частности, высота корпуса машины была доведена до 61 см (вместе с рельсами) [9], что давало возможность использовать ее на маломощных пластах. Однако внедрению машины «Гартшери» в производство препятствовал большой недостаток — частое обрывание цепей. В 1877 г. инженер Джеффри и несколько позднее Лехнер

создали цепную врубную машину в Америке. Рабочим органом этой машины являлся бар, состоящий из направляющей металлической рамы и движущейся в ней режущей цепи с зубами. Бар врубался в уголь на глубину 1,8 м, при этом цепная рама в машине могла поворачиваться на 180°.

Первые цепные врубные машины были очень несовершенны и ненадежны в работе. Потребовалось много времени, чтобы создать практически пригодную и надежную машину. В 1893 г. фирма «Jefrey» в США сконструировала цепную врубную машину, которую успешно применяли на угольных шахтах многих европейских стран. В 1894 г. врубные цепные машины начинают изготавливать фирма «Sullivan», а в 1897 г. — фирма «Goodman».

В начале 900-х годов на Никитовском руднике Азербайджана в России на проходке штреков применяли шесть пневматических врубных машин, устанавливаемых на раздвижных катках (по типу Эйзенберга). Эффект от их применения был положительным, но как долго они применялись, документально установить не удалось.

Появление тяжелых электрических врубных машин в России относится к 1903—1904 гг. Две дисковые врубные машины английской фирмы «Diamond and Clark» работали на пластах «Розовый» и «5-й Власовский» (Донбасс) мощностью 0,5—0,7 м антрацитовой рудника Азовской угольной компании. По свидетельству Н. А. Чинакала, этот первый опыт применения тяжелой электрической врубной машины в весьма тонком пласте при отсутствии запасных частей был не вполне удачным; тем не менее себестоимость антрацита при машинной выемке была ниже буровзрывной [10, с. 103—109].

В 1908—1914 гг. угольные компании и отдельные горнопромышленные предприятия применяли тяжелые электрические врубные машины главным образом американских фирм. Поскольку это носило экспериментальный характер, приобретали машины самых различных типов: от «брест» и «шортволл» для коротких забоев штреков и уклонов при небольшом угле падения пласта до «лонгволл» для длинных очистных забоев. Из Англии заказывали дисковые и штанговые режущие врубные машины. Всего Россия приобрела в 1908—1914 гг. 42 тяжелых врубные машины, в том числе 15 дисковых и 7 штанговых английских и 20 цепных режущих американских. Кроме того, до середины 1914 г., по данным А. М. Терпигорева и Л. Д. Шевякова, было приобретено 78 легких ударных врубных машин, преимущественно пневматических, используемых для механизации зарубки при проходке подготовительных выработок [14, с. 308]. Аналогичные пневматические ударные врубные машины начал выпускать машиностроительный завод Екатеринбургского акционерного общества. Однако по числу врубных машин Россия значительно отставала от США и ряда европейских стран.

Внедрение врубных машин в шахтах и рудниках значительно облегало труд горнорабочих, однако самый трудоемкий процесс — погрузка отбитой породы — оставался еще немеханизированным. Нужна была комбинированная машина, в которой были бы совмещены процессы подрубки и отбойки с погрузкой породы.

В некоторых смежных с горной отраслью промышленности стали появляться технические предложения, идеи которых можно было использовать для создания такой комбинированной машины. Так, еще в 1865 г.

Департамент торговли и мануфактур выдал «Привилегию № 10» (заявка от 17 мая 1864 г.) Флорену Ванденвину на изобретенную им землекопную машину [12, с. 129], предназначенную «для прорытия в возвышенностях ровов или трашей, по которым могли бы быть проведены обыкновенные или железные пути, каналы или сделаны укрепления». Машина Ванденвина состояла из деревянной повозки длиной 8,5 м и высотой 4,5 м, шириной по повозки определялась размером выработки. Внутри этой повозки помещали локомотив или небольшую паровую машину, которая приводила в движение весь механизм. В передней части повозки находились два вертикальных железных вала с двойными резаками из ковкого железа. Концы резаков были изготовлены из закаленной стали и имели несколько изогнутую форму. Расположенные на валах в виде спирали резаки каждого вала поочередно касались земли, предназначенной для выемки. Валы вращались в противоположные стороны, поэтому резаки постоянно перекрещивались, образуя при движении ров с откосами.

Машина должна была выполнять те же операции, что и горный комбайн: резать и отделять землю от массива, бросать (захватывая изогнутой частью резаков) ее в ковши, расположенные на бесконечной цепи, из ковшей — на непрерывно движущуюся ленту и далее по наклонной плоскости (из дерева или листового железа) в специальные тележки.

Идея машины Ванденвина была оригинальна. Благодаря встречному движению поек (резаков) осуществлялась уравновешенность машины, что не всегда достигается даже в современных конструкциях проходческих комбайнов. Новым было предложение армирования ножи закаленной сталью. Ф. Ванденвин удачно решил задачу совмещения разрушающего порою органа с погрузочным. Однако существенным недостатком машины Ванденвина была невозможность проходить породы даже незначительной крепости, так как мощность парового двигателя была небольшой, а режущий инструмент непрочным. Сейчас мы не располагаем сведениями о практическом применении этой машины. Патент Ванденвина — это первая попытка создать комбинированную горнопроходческую машину.

Были и другие проекты. В качестве примера можно привести усовершенствованную землекопную машину Вап дер Эльста, привилегия на которую получена в России 19 декабря 1887 г., № 12033 (заявка от 13 апреля 1884 г.).

В 60—70-е годы XIX в. появляются первые предложения конструктивных машин, которые можно уже назвать комбайнами.

В 1864 г. во Франции на проходке подземной выработки по известняку была испытана машина, предложенная англичанином Брентоном [13]. Исполнительный орган этой машины состоял из двух дисков, на которых было закреплено по шесть дисковых резов, свободно вращавшихся на своих осях. Диски получали принудительное вращение вокруг своих осей и вокруг оси полого винта, в результате чего резы описывали сложные кривые — эпициклоиды. Вследствие этого режущие органы горных машин с двойным вращением инструментов получили значительное развитие, а сходство с вращением планет дало основание [14] называть их планетарными исполнительными органами.

Идея, заложенная Брентоном в конструкцию исполнительного органа своей машины, оказалась исключительно плодотворной и, можно сказать, опередила тогдашний уровень техники на несколько десятков лет [13].

Дисковые резы и в наше время заслуживают серьезного внимания. Они нашли применение на механизированном щите при строительстве московского метро.

В 70—80-х годах XIX в. были выданы первые патенты на проходческие машины, основанные на принципе сверления. Сюда можно отнести машину, сконструированную в 1880 г. англичанином Стенли для проходки тоннеля под проливом Ла-Манш [15]. Машина Стенли делала круговой вруб, окуривающий породный цилиндр, который затем подрывали взрывчаткой, а отбитую породу грузили вручную.

В одной из первых машин, разработанной на базе проходческой машины Стенли и вывезенной в США из Англии в 1883 г., использованы принцип зарубки короткими ударного действия. Снабженная транспортером врубобогородузная машина была внедрена на шахте Бенкет (Иллинойс) в 1890 г. Эта машина, так же как машина Стенли, стала предшественницей будущей комбинированной проходческой машины Эдварда Мак-Кинли, в которой получила воплощение идея высверливания выработки в некрепкой горной породе [16, с. 32—34]. Патент на машину Мак-Кинли был выдан в США на рубеже XIX и XX вв. Практическое применение она нашла лишь в 1920 г.

В конце XIX — начале XX в. в России появляются проекты более совершенных машин для одновременной механизации зарубки, отбойки и погрузки горной породы в вагонетки [12]. Авторы проектов не задавались целью сконструировать машину для какой-либо определенной отрасли горной промышленности. Они ставили перед собой задачу, и кстати сказать ошибочную, создать универсальную горную машину — горный комбайн широкого назначения. Ошибочность их подходов к созданию универсальной горной машины состояла в том, что они не учитывали специфику различных горных пород — их залегания, крепости, неоднородности и т. д. Такие машины могли работать только в идеальных условиях, т. е. в некрепких однородных породах. Поскольку это были первые машины, явившиеся прообразом современных горных комбайнов, они представляют несомненный интерес для специалистов-горняков и историков техники. Остановимся на некоторых из них.

23 апреля 1893 г. петербургский служащий — коллежский регистратор А. К. Калери подал в Департамент торговли и мануфактур прошение о выдаче ему привилегии на машину для земляных работ, названную «Землерой». По замыслу автора, машина предназначалась для проходки тоннелей, причем предполагалось, что тоннель сечением 25 м<sup>2</sup> за один месяц «может быть прорыт на 1 версту». Помимо проходки тоннелей, машина, как утверждал автор, могла быть применена и к добычии каменного угля или руды. Для этого она должна была быть оборудована двумя режущими головками, из которых одна имела бы резы параллельные (для горизонтальных нарезов по всей высоте пласта), а другая — резы под углом (для снятия вертикальных призм, высота которых равна расстоянию между горизонтальными нарезками). Над усовершенствованием своей машины изобретатель работал в течение ряда лет. Так, за период 1893—1896 гг. Калери 10 раз подавал в Департамент торговли и мануфактур прошения и заявления с дополнениями по улучшению конструкции его машины<sup>1</sup>.

Изобретатель пытался запатентовать свое предложение не только в России, где он жил и работал, но и за границей. Так, 25 января 1896 г. А. К. Калери подал в патентное бюро Германии заявку, по которой в декабре того же года ему был выдан патент (нем. патент № 89185).

В России Калери в конце концов удалось получить привилегию (за № 4912 от 28 февраля 1901 г.) на машину для добычии горных пород.

В этой привилегии говорилось, что «предлагаемая машина называется для добычии горных пород в забоях, обнажениях и пр., преимущественно в виде глыб или призматических кусков квадратного поперечного сечения». Машина состояла из остова, двигателя, бара, снабженного зубчатой режущей головкой с противовесом, системы конвейеров — скребкового и ленточного. Рабочее движение от двигателя к исполнительному органу передавалось через сложную систему передач, при этом широко использовались канатные передачи.

Принцип работы машины заключался в следующем. Горную породу отделяли от массива с помощью режуще-отбойной головки, состоящей из набора (два, четыре и более) режущих дисков, установленных под прямым углом один к другому. Отбойная головка укреплена на баре, перемещавшемся в горизонтальной и вертикальной плоскостях и сообщавшем дискам, кроме вращательного, поступательное движение.

Работа машины начиналась с подачи ее на забой и выемки горизонтальной полосы у почвы пласта. Затем бар последовательно перемещался снизу вверх, вырезая узкие вертикальные боки. Отделенная от массива горная порода по лотку поступала на систему конвейеров и далее в вагонетки.

Калери предполагал использовать свою машину не только на подземных, но и на открытых разработках. Однако конструкция машины обладала существенными недостатками: слабостью ряда узлов (и прежде всего исполнительного органа), отсутствием механической подачи машины на забой, громоздкостью и ненадежностью канатной системы передач. Вместе с тем предложение А. Калери представляет интерес из-за оригинальной принципа работы режущего органа: съема стружки с поверхности забоя с помощью специальной режуще-отбойной головки [17, с. 13—15]. К преимуществам машины можно отнести возможность разрушения малой части забоя, что не требовало больших усилий.

В первом десятилетии XX в. русский изобретатель Ф. А. Поляков-Ковтунов разработал целую серию машин, среди которых был и комбайн для проходки горных выработок. На одиннадцатый изобретений ему было выдано в России шесть привилегий по заявкам от 1907 и 1908 гг. Все проекты отличались глубиной и оригинальностью разработок. Изобретатель поставил перед собой задачу создать универсальную машину для проходки тоннелей, штреков, рыва каналов и т. п. Характерная черта его проектов — применение в качестве режуще-отбойного органа строгающих «пожей» различной формы. Такой строгающий исполнительный орган мог не только отделять полосу горной породы, но и разрушать ее, облегчая при этом навалку выпущенной породы. Возможность выемки различных пород в зависимости от их крепости достигалась регулировкой толщин снимаемого слоя.

Поляков-Ковтунов подробно разработал принцип конструкции рабочего органа машины «для разнообразных земляных работ». Эту машину

<sup>1</sup> Сведения об этом имеются в Центральном Государственном историческом архиве СССР в Ленинграде (ЦГИА СССР).

он рассматривал как базовую для различных видоизменений и вариантов. Автор отмечал, что «этой же машиной можно производить выемку тонелей, для чего верхний нож должен быть изогнут»<sup>2</sup>. В одной из следующих своих заявок Поляков-Ковтунов представил полнотехнически разработанный проект комбайна для проходки горных выработок — «самодействующую машину для производства земляных работ и для иных целей, отличающуюся применением строгального станка и тележки с автоматическими передвижающимися рельсами»<sup>3</sup>. Машина представляла сложную конструкцию, смонтированную в жестком каркасе, и состояла из следующих основных частей: мотора, режуще-отбойной головки с ножами, изогнутыми спирально по поверхности конуса, системы конвейеров для погрузки породы и ходовой части платформы с автоматической прокладкой рельсов по принципу шагающей подачи.

В силу сложности конструкции машина имела значительные габариты, поэтому изобретатель предусмотрел установку на ней шитового крепления. Процесс работы комбайна состоял в следующем: машину по рельсам подавали на забой, затем включали режущую часть. Срезанный слой породы попадал на систему конвейеров и далее в доставочные устройства.

Горнопроходческий комбайн Полякова-Ковтунова мог найти применение только при разработке некрепких горных пород. Перед первой мировой войной Путиловский завод изготовил спроектированную Поляковым-Ковтуновым «самодействующую машину», предназначенную для разработки глинистого грунта при кирпичном производстве, но удалось ли ее внедрить в производство — неизвестно, хотя указывается [18, с. 184] производительность машины — до 1000 м<sup>3</sup> грунта в 10-часовую смену.

В проектах Полякова-Ковтунова, конечно, были конструктивные недостатки (громоздкость, ненадежность системы передачи движения исполнительному органу, слабость режущего инструмента и т. п.), но с учетом низкого уровня механизации в горнодобывающей промышленности того времени становится очевидной талантливость нашего соотечественника.

На Западе и особенно в США отмечается некоторый рост изобретений комбинированных горных машин с начала 1910 г.

Первым реализованным за границей проектом горнопроходческого комбайна являлась машина Морган — Джеффри. Ее изобрел в 1910 г. американец Е. С. Морган и изготовил в 1913 г. фирма «Jeffrey». Машина предназначалась для быстрого прохождения подготовительных выработок по уголю в достаточно мощных (до 2 м) подлогопающих пластах [19]. Она состояла из трех баров с режущими цепями, тарана и пяти долот. Бары были установлены на прочных салазках вместе с мотором в 50 л.с. и пластинчатым конвейером [6].

Нижний горизонтальный и два вертикальных бара вели врубку по трем плоскостям, таран же, совершавший качательные движения, сбивал подрезанный уголь, который падал на головной конвейер, вводимый в нижнюю зарубку щель своим передним концом, и затем грузился в вагонетки. Один проходческий цикл выполнялся в три приема-заходки. По мере внедрения в уголь вся машина подавалась вперед на длину 2,4 м. Когда одна

заходка завершалась, машину с помощью каната отодвигали назад и делали вторую заходку, и т. д. Зарубка и отбойка шли довольно быстро. Например, в 2-метровом пласте средней крепости на заходку шириной 1,5 м и глубиной 2 м требовалось 20—30 мин и штрех шириной 3 м мог быть пройден со скоростью 10 м в смену [6, с. 92].

Машина Моргана представляла собой комбайн для проходки выработок по уголю. Фирма «Jeffrey» рекламировала машину как универсальную, т. е. способную работать и по проходке подготовительных выработок, и по добыче угля [20]. Однако все попытки использовать машину в очистных работах на крепких углях ни к чему не привели [19, с. 32].

В основу работы комбайна был положен неудачный принцип ударной отбойки, поэтому машина не получила широкого распространения не только в очистных, но и в подготовительных работах.

В 1920 г. фирма «Sauthern Coal Coke and Mining Co», владевшая шахтами в штате Иллинойс (США), начала впервые применять комбинированную проходческую машину Мак-Кинли, работавшую на принципе высверливания забоя. Машина отличалась высокой производительностью: проходка штреха с ее помощью составляла 8—10 м за смену [19, с. 32]. На руднике «Pocahontas» (США) скорость проходки штреха по уголю сечением 4,5 м<sup>2</sup> составляла 10,5 м; за каждые 10 мин машина нагружала четыре трехтонные вагонетки угля [21, с. 667]. Машины Мак-Кинли продолжительное время работали также на руднике Новый Ориент. Однако машины часто ломались, из-за чего многие из них были сломаны в лом. На базе машин Мак-Кинли впоследствии было создано несколько типов более совершенных комбайнов («Маризта», «Майнер-500», «Гудмен-400», «Гудмен-500»).

На американских угольных шахтах для проведения штрехов некоторое время применяли комбинированную машину О'Тула [6], работавшую по принципу резания (царапания) забоя. Исполнительный орган машины представлял собой прочную стальную раму, шарнирно укрепленную на передней части четырехколесной платформы и несущую десять и более (в зависимости от желаемой ширины выработки) цепей с насаженными резаками. Во время работы цепи с резаками двигались вокруг рамы по направлению, параллельному оси проходимой выработки, царапая грудь забоя, а сама рама совершала качательные движения вверх и вниз, вследствие чего подрезанный уголь падал на лочку выработки и винтовым поперечным транспортером сгребался к конвейеру машины, с которого попадал в стоящие позади машины вагонетки. На одной из американских угольных шахт машиной О'Тула проводили штрех по уголю сечением 6,3 м<sup>2</sup> со средней скоростью 11,5 м в 10-часовую смену, расходуя 164 кВт·ч и добывая около 80 т угля. Уголь получался мелкий [6, с. 88—94].

В 1896 г. О'Тул предложил комбинированную машину для добычи горных пород, которую, так же как и проходческую, изготовили в нескольких вариантах лишь в 20-х годах XX в. [19]. Она состояла из двигателя и длинного горизонтального бара (12,8—30,5 м в зависимости от длины забоя). С помощью нескольких домкратов, приводимых в движение одним двигателем, машина подавалась на забой и врубалась в пласт. Подрубленный уголь, вручную отбиваемый кайлами, падал на смонтированный за баром скребковый конвейер, который доставлял его на штрех.

Идея выемки породы по всей длине забоя была в то время весьма прогрессивна, но неприменима ко всем горно-геологическим условиям. Маши-

<sup>2</sup> ПТИА СССР, ф. 24, оп. 17, ед. хр. 566, л. 68.

<sup>3</sup> Там же, ед. хр. 568, лл. 1, 5.

на О'Тула могла работать только на мягких углях, не содержащих про-  
слоек, по пластам пологого залегания, с достаточно хорошей кровлей  
и почвой. Исходя из этого, изобретатель в последующих моделях машин  
изменил длину бара и расположение конвейера. В одной из своих моделей  
он предложил «устройство механического подвижного крепления кровли  
в забое», названное «танком» [19, с. 82—84].

Принцип действия «танков» заключается в следующем. Двигатель,  
приводивший в движение режущую цепь и конвейер, через соответствующую  
передачу сообщал вращение длинному валу, расположенному вдоль  
конвейера. От этого вала через передачу приводились в движение нижняя  
(у почвы) и верхняя (у кровли) гусеницы «танка». Таких «танков» было не-  
сколько в зависимости от длины забоя, и каждый из них нес по одной гид-  
равлической стойке. Перемещаясь вперед, «танки» давили на раму маши-  
ны и прижимали бар к забою. Таким образом, «танки» совмещали две  
функции: крепления призабойного пространства и подачи машины на  
забой. В конструкции «танков» имелись недостатки (они могли работать  
только при постепенно провисающей кровле), но сама идея заслуживает  
внимания.

Одновременно с угледобывающей машиной О'Тула фирма «Jeffrey»  
запатентовала в 1924 г. в Англии и в 1925 г. в Германии комбинированную  
машину для добычи угля. Машина Джеффри по своей идее очень близка  
к машине О'Тула. Она состояла из обыкновенной врубовой машины с длин-  
ным баром, расположенным вдоль всего забоя. Врубовая машина приво-  
дила во вращение режущую цепь бара и одновременно сообщала ему и  
всей системе поступательное движение вперед при помощи каната, особым  
образом пропущенного через блоки-ролики. Отличительная особенность  
этой машины — подборка подрезанного угля, доставка его к штреку  
и погрузка в вагонетки с помощью бара и режущей цепи [19].

Внедрение механизации по добыче полезных ископаемых вызвало не-  
обходимость быстрой транспортировки их. Идея применения спе-  
циальных желобов для транспортировки полезных ископаемых возникла  
еще в начале XIX в. Первые деревянные желоба появились на рудни-  
ках Южной Африки. В целях лучшего скольжения руды деревянные же-  
лоба начали заменять металлическими, причем при горизонтальном рас-  
положении желобов их подвешивали и раскачивали. Эти раскачивающие-  
ся желоба были прообразом будущих качающихся конвейеров.

В каменноугольной промышленности в конце XIX — начале XX в.  
появились скребковые и ленточные конвейеры (транспортёры). Раньше  
других скребковые конвейеры начали применять в английских шахтах  
(1902 г.). Они состояли из желоба, цепи со скребками и были снабжены вна-  
чале пневматическим, а затем электрическим приводом; применялись в за-  
боях различной длины.

В ленточных конвейерах использовали тканевые (из прочного хлопча-  
тобумажного материала) ленты, которые позже начали заменять более  
прочными — резиновыми, известными в США еще в 60-х годах XIX в.  
В 1906 г. в Англии был сконструирован ленточный конвейер для пластов  
угля малой мощности. Для движения ленты имелись несколько барабанов  
с принудительным вращением.

Кроме скребковых и ленточных, в первом десятилетии XX в. в горно-  
добывающей промышленности начали применять качающиеся конвейеры.

Они появились сначала в Германии, затем в Англии и других странах.  
Решетки подвешивались либо к стойкам, либо к опорам-кареткам с пнев-  
матическим или электрическим приводом.

Еще в 30-х и 40-х годах XIX в. были сделаны попытки использовать  
для откачки по горизонтальным выработкам паровой двигатель, по при-  
менение его в шахтных условиях оказалось нецелесообразным. В 80-х  
годах XIX в. в США и некоторых других странах на подземных работах  
появились локомотивы, работавшие на сжатом воздухе и получившие  
название воздушных. Однако длительного применения и они не нашли  
в связи с их эксплуатационными недостатками. На смену воздушным  
пришли троллейные электровозы, которые начали применять в 1882 г.  
в Европе для откачки грузов по горизонтальным выработкам.

В США троллейные электровозы в шахтах появились в 1887 г., по-  
тому их внедрения и мощность оказались значительно выше, чем в евро-  
пейских странах. Для обеспечения большей маневренности электровоза  
в США начали применять специальную кабельную катушку, которая по-  
зволяла вводить электровозы в камеры и забирать оттуда груженные ваго-  
нетки.

На рубеже XIX и XX вв. в фирме «Baldwin Westinghouse» в США были  
созданы первые аккумуляторные электровозы, обеспечивавшие лучшую  
маневренность их в шахтах. Аккумуляторные электровозы повышали бе-  
зопасность работы в шахтах, поэтому ими заинтересовались и начали при-  
менять в Европе, где многие шахты были взрывоопасными. В таких ша-  
хтах применение троллейных электровозов исключалось.

Совершенствовались и средства рудничного подъема на поверхность.  
Применявшиеся конные ворота начали заменять паровыми подъемными  
машинами, обеспечивавшими значительно большую производительность.  
По свидетельству профессора Н. А. Тиме, это были «двойные паровые ма-  
шины с переменным ходом и без махового колеса», характеризующиеся от-  
сутствием мертвых точек, незначительной инерцией движущихся масс  
и легко управляемые машинистом [22, с. 25].

В процессе эксплуатации подъемных установок было замечено, что  
нагрузка на двигатель не остается постоянной по мере движения клетки.  
Сказывался фактор неуравновешенности каната. По мере углубления  
шахт эта проблема становилась все острее. Для решения ее в 1875 г. была  
создана комиссия, состоявшая из ученых разных стран, которая рабо-  
тала на крупнейшем в то время руднике Войтшике (современная Чехо-  
словакия) [23, с. 305].

Чтобы устранить вредное влияние неуравновешенности подъемного  
каната, в разное время применяли различные способы: противовесы в фор-  
ме перемещающихся вспомогательных грузов и тяжелых цепей, дополни-  
тельные уравнивающие канаты, барабаны переменного сечения и дру-  
гие устройства.

Наибольшее распространение в горном деле получил способ уравнива-  
ния с помощью различных противовесов, а также способ с использо-  
ванием уравнивающего хвостового каната, предложенный еще  
в 1821 г. в Германии.

Заслуживает внимания уравнивающая установка со шкивом  
трения немецкого инженера Кёне, предложенная им в 1877 г. [24, с. 48].  
В этой установке канат не навивается на барабан, а идет от одной клетки



к другой через систему шкивов, образуя бесконечный канат с клетями, расположенными в двух точках. Уравновешивающий канат крепится к днищу обеих клеток.

В последнем десятилетии XIX в. в горнодобывающей промышленности начинают применять электропривод, который позволил увеличить грузоподъемность и скорость подъема. Так, например, грузоподъемность установок на угольных шахтах Англии в 1870 г. составляла максимум 4 т, а в 1912 г. — 6 т. Скорость подъема соответственно изменилась с 5,25 до 14,6 м/с.

Первая подъемная машина с электрическим двигателем начала работать на одной из шахт Германии уже в 1891 г. [25, с. 7].

Применение электроприводов в шахте повлекло и на развитие подземных водоотливных установок. Но прежде чем характеризовать водоотливные установки, работавшие от электродвигателя, следует сказать о развитии водоотлива в целом.

В течение длительного времени и до конца XIX в. основным средством рудничного водоотлива был поршневой насос, приводимый в действие паровой машиной Уатта [26, с. 113]. Одновременно на рудниках многих стран применяли поршневые насосы с приводом от гидравлического колеса. С появлением паровой машины двойного действия водоотливные установки с гидравлическими колесами начали постепенно заменять. В самих же насосах все деревянные детали были заменены чугунами и в некоторых случаях бронзами. Паровая машина, обеспечивавшая большую мощность водоотливной установки, окончательно заменила гидравлическое колесо. В 1891 г. проф. И. А. Тиме по этому поводу писал: «В настоящее время гидравлическое колесо, можно уверенно сказать, представляет собой вполне законченный, совершенный при известных обстоятельствах механизм, так что серьезные изобретения в области их являются положительно невозможными» [27, с. 197].

Начиная со второй половины XIX в. на шахтах и рудниках сооружали подземные и подземные водоотливные установки (без штанг). К первому типу относились: установки системы немецкого инженера Клея; насосы, работавшие от паровой машины с маховым колесом; установки прямого действия без махового колеса.

Насосная установка системы Клея, построенная в 1875 г., заслуживает особого внимания из-за ее преимуществ перед другими водоотливными установками того времени. Она приводила в действие пять насосных ставов (плунжерных насосов), из которых три были нагнетающими, поднимающими воду с глубины 200 м, а два — всасывающими, расположенными ниже первых и качающими воду с глубины 60 м (при общем напоре 260 м). Производительность установки составляла 119 м³/ч [28, с. 301—308].

Наибольшее распространение водоотливные установки с паровым двигателем получили сначала в Англии, а затем и в других странах Западной Европы.

Первые паровые машины имели сложную систему передачи движения к насосу. Упрощение этой системы привело к созданию рудничных водоотливных машин прямого действия, в которых шток поршня соединялся непосредственно с насосной штангой через дно парового цилиндра. В этом случае паровую машину помещали прямо над устьем шахтного ствола. Недостатки работы установок этого типа: необходимость сооружения

стволов большого диаметра, невозможность устройства надежного фундамента для паровой машины, отрицательное влияние на машину сырости и угольной пыли, выделявшихся из шахты. Вследствие этих недостатков в последнем десятилетии XIX в. было прекращено сооружение рудничных водоотливных машин прямого действия, но те, которые были установлены ранее, еще продолжали работать до полного износа.

В последнее десятилетие XIX в. весьма большое распространение получили подземные водоотливные установки. Они вытеснили плунжерные насосы, при которых приходилось затрачивать большие усилия на приведение в действие насосных штанг, противовесов, балансиров, контрбалансиров (мертвый вес) и на вес воды в насосных ставах (полезный вес). Как правило, мертвый вес превышал полезный в 15—25 раз, поэтому совершенно естественным было стремление освободиться от тяжелых движущихся масс.

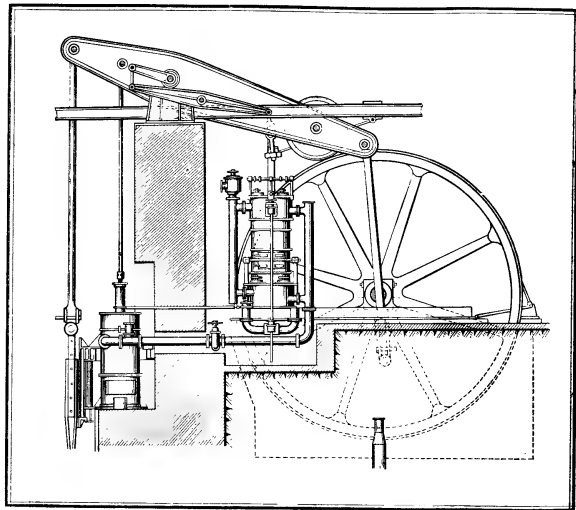
Подземные водоотливные установки представляли собой простое, компактное и дешевое устройство, требующее в стволе шахты незначительного пространства для прокладки паровой и нагнетательной труб. Применение их обходилось дешевле других типов примерно в два раза. Наибольший интерес среди этих установок представляла машина с одним паровым цилиндром бельгийской фирмы «Беер», которая работала на рудниках Лувьер и откачивала воду с глубины 376 м, обеспечивая производительность 39,6 м³/ч. Интересна и двухцилиндровая паровая подземная машина французского инженера Олемара, которая работала в 70-х годах на руднике «Святая Мария», качая воду с горизонта 330 м и обеспечивая подачу 180 м³/ч [26, с. 125].

В 80-х годах XIX в. подземные паровые водоотливные установки начали монтировать и в рудниках России. Так, в 1885 г. подземный насос, спроектированный горным инженером В. И. Лазаревым, был установлен в руднике Н. С. Кошкина (Донбас). Производительность насоса составляла 143 м³/ч, глубина откачивания 150 м [29].

В начале XX в. в горнодобывающей промышленности происходит процесс замены поршневых насосов более мощными и производительными центробежными. Значительный вклад в развитие этих насосов внес французский горный инженер А. Рато, предложивший в 1898 г. первый мощный многоколесный центробежный насос. Внедрение центробежных насосов



Иван Августович Тиме  
(1838—1920 гг.)



Насосная установка системы Клея (1875 г.)

с электроприводом позволило повысить скорость вращения рабочего колеса до 1500 об/мин вместо 150 об/мин, достигнутых в «быстроходных» по тем временам поршневых насосах. На рубеже XIX и XX вв. немецкая фирма братьев Зульцер соорудила водоотливную установку с тремя последовательно работающими центробежными насосами на одном из испанских рудников «Compania Minera u. Metalurgica del Hocesajo». Эта установка обеспечивала подъем воды на высоту 390 м при производительности 250 м<sup>3</sup>/ч [30, с. 20]. Позже центробежные насосы начали применять и в других странах. Этому способствовали преимущества их по сравнению с поршневыми насосами: более низкие капиталовложения и эксплуатационные расходы.

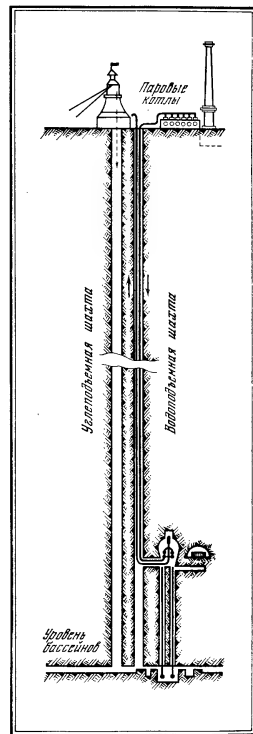
Рудничной вентиляции принадлежит одно из важных мест в горной науке. Развитие вентиляции всецело зависело от теоретических исследований, заложивших основу для методов рудничной аэрологии. Еще в 1860 г. английский ученый Аткинсон вывел формулу, по которой мож-

но было определить количество воздуха, необходимое для нормальной работы в шахте. В ряде стран ученые изучают законы движения воздуха по выработкам, исследуют влияние сопротивления стенок выработок движению воздушной струи, влияние угольной пыли на взрываемость гремучего газа (Мюрк, М. М. Протодьяконов, А. А. Скочинский и др.).

В конце XIX — начале XX в. в горнодобывающей промышленности мира отмечено множество рудничных катастроф, вызванных взрывами гремучего газа и угольной пыли. Стало очевидным, что старые способы естественного проветривания, включая и применение «воздухоочистительных» печей, не могут обеспечить разжижение взрывчатого рудничного газа свежим воздухом. Началось применение активной, механической вентиляции. Появились механические центробежные вентиляторы систем Гиббля, Уокера и др. Вентиляторы Гиббля, выпускавшиеся немецкой фирмой Гумбольдт, имели диаметр колеса от 5 до 12 м и приводились в действие паровой машиной. Вентилятор с диаметром колеса 12 м развивал производительность 3000—3750 м<sup>3</sup>/мин [31, с. 161].

Однако вентиляторы с большим диаметром колес в силу своей громоздкости отличались тихоходностью, вследствие чего в начале XX в. их стали заменять более портативными (диаметр колеса от 1,5 до 3,5 м), но с большим числом оборотов колеса. Это дало возможность перейти на электрический привод. Из этой серии лучшим для того времени считались вентиляторы системы Рато.

В 70-х годах XIX в. освещение горных выработок было крайне примитивным. Применяли лампы, заправленные керосином или маслом (сурепным, дьяным, конопляным, соляровым). Открытые масляные лампы «Фрейбергская», «Силезская», «Бог



Подземная водоотливная установка (конец XIX в.)

помочь) и другие по конструкции были близки к лампам, применявшимся в быту. Участвовавшие случаи взрывов метана в шахтах ограничивали применение открытого огня для освещения выработок и рабочих мест в забоях. Поэтому правилами безопасности было предписано на всех газовых шахтах применять предохранительные лампы с сетками, которые, кстати сказать, давали возможность судить и об опасных скоплениях газа.

Первая предохранительная лампа — лампа «Davy» — являлась прототипом всех последующих ламп. Наибольшее распространение получила лампа «Wolff». Горючим материалом в ней был бензин. Она давала больше света по сравнению с масляными и меньше коптила. Однако и у нее были недостатки: легкая воспламеняемость бензина, потапление от толчков и колебаний воздуха, увеличение содержания взрывчатой смеси газов в воздухе из-за выделения лампой нестерших бензиновых паров. В первоначальной конструкции лампа «Wolff» была опасна при внезапном выделении гремучего газа вследствие выхода пламени за пределы сетки. Чтобы устранить этот недостаток, на лампу надевали специальный отражающий колпак.

В лампе «Morison» исключалось непосредственное попадание воздуха или взрывчатой смеси внутрь благодаря специальным предохранительным цилиндрам.

Кроме всех перечисленных, использовали также ацетиленовые предохранительные лампы, которые хорошо горели при сильной струе воздуха и гасли в атмосфере с большим содержанием метана.

В 80-х годах XIX в. на английских угольных шахтах появилось стационарное электроосвещение. Источником питания служили сначала гальванические батареи, затем аккумуляторные. Одновременно на угольных шахтах начали распространяться переносные электрические лампы. Такая лампа впервые была продемонстрирована в 1880 г. французским инженером Г. Труве на заседании Парижской академии наук. В самом конце XIX в. широко распространились головные электрические лампы, созданные впервые в Америке в 1896 г. и работавшие от портативной электробатареи Т. А. Эдисона.

Горная наука развивалась в разных направлениях. Важная роль в ее развитии принадлежит профессору Пршибрамской горной академии Й. Грабаку — одному из основоположников горной механики, внесшему большой вклад в развитие высшего горного образования в Чехии. Деятельность Й. Грабака относится к тому периоду, когда в Чехии шло становление крупной капиталистической индустрии, быстро развивалось горное дело. Происходившая тогда техническая революция ставила многие научные и технические проблемы, в решении которых принимал активное участие и профессор Й. Грабак [32]. Особенно большой вклад внес Й. Грабак в область расчета, изготовления и эксплуатации паровых машин, рудничных подъемных машин, рудничных проволочных канатов и других устройств горно-механического комплекса. Й. Грабак опубликовал свыше 15 работ, посвященных паровым машинам.

Чешские специалисты горного дела Франц Эмил Шубел, Тома Нелиба, Франц Скричка и Йохан Мечирж внесли большой вклад в развитие горного дела не только своей страны, но и других стран, в частности Болгарии [33, с. 283—293].

В 80-х годах XIX в. в связи с интенсивным развитием бурильных машин появляется ряд работ профессора Венской Высшей технической школы Ф. Ржипи [33], немецких ученых А. Фаука [34], А. Доренца, Л. Серло, Г. Текленбурга. Необходимо отметить большой вклад в развитии горной науки и русских ученых. В этот период Н. А. Тиме разрабатывает основы горной механики, обращая значительное внимание на конструирование подъемных машин [22, 60, 61]. М. М. Протодьяконов [37—39] создает теорию давления горных пород и систему их классификации, Б. И. Боккий [40—45] разрабатывает новые методы проектирования рудников и излагает методические основы для выбора способов вскрытия и разработки шахтных полей, С. Г. Войслав [46], Г. Я. Дорошенко [47, 48] изучают вопросы обогащения угля, теоретические основы флотационного обогащения разрабатывает И. С. Громека [49—53].

Системам разработки посвящены многие работы А. М. Терпигорева [54, 55]. Теоретические положения, на основе которых развивалась впоследствии рудничная аэродинамика, были сформулированы А. А. Скочинским [56—59]. Ученники Н. А. Тиме — М. М. Федоров [62, 63] и А. П. Герман успешно работали в области создания теоретических основ шахтного подъема [64]. М. М. Федоров предложил также своеобразную методику расчета рудничных турбомашин при помощи безразмерных характеристик [65].

В заключение можно отметить следующее. В рассматриваемый период в горной технике добычи твердых полезных ископаемых произошли значительные изменения. Вместе с ростом добычи угля возросла доля его в мировом энергетическом балансе. Рост добычи сопровождался изменениями в структуре угольных предприятий: от мелких раздробленных шахт и рудников, принадлежавших ранее частным владельцам, перешли к крупным рудникам, вошедшим в подчинение мощных монополистических объединений.

Нововведения в технических средствах горнорудной промышленности непосредственно зависели от внедрения в машиностроительное производство стали и все большего применения электропривода.

Наряду с угольной отраслью появлялись новые отрасли топливной промышленности, и прежде всего нефтяная.

## 2. НЕФТЬ — НОВОЕ ТОПЛИВО И СЫРЬЕ ДЛЯ ИНДУСТРИИ

В 70-х годах XIX в. начался первый этап развития мировой нефтяной промышленности, который И. М. Губкин охарактеризовал как «осветительный, или керосиновый, период» [66, с. 12]. Он был подготовлен тем, что нефть издавна применяли для освещения. Было замечено, что неочищенная нефть при горении сильно коптит и дает густое пламя, а более легкие нефтяные продукты горят ярче. Начались попытки очищать и перерабатывать нефть. В апреле 1855 г. химик Б. Силлиман (США) сообщил о составе американской нефти и указал, что продуктом ее перегонки является масло, пригодное для сжигания в осветительных лампах [67, с. 940].

Открылась возможность использовать продукты переработки нефти для лампового освещения. Керосиновые лампы оказались экономичнее масляных, проще по конструкции, требовали меньшего ухода. В результате керосин повсюду стал вытеснять растительные масла и началось строительство заводов для его производства.

Керосин как средство освещения вошел в обиход и стал главным продуктом переработки нефти. Спрос на него на мировом рынке резко возрос, и возникновение нефтеперегонных заводов приняло массовый характер. Но при перегонке нефти получались остаточные продукты, в частности бензин, мазут, от которых избавлялись, сжигая или выливая их в реки и моря. В последней четверти XIX в. нефтью начали заменять традиционное топливо — уголь. Так как теплота сгорания нефти выше, чем у всех других видов топлива, ее стали сжигать в топках паровых котлов на фабриках, заводах, на железных дорогах, на судах и т. д. Например, в конце 70-х годов на Каспийском море у братьев Нобель появились паровые наливные суда, топливом для которых служил их груз — нефть. Новые сферы потребления нефти способствовали дальнейшему развитию нефтяной промышленности.

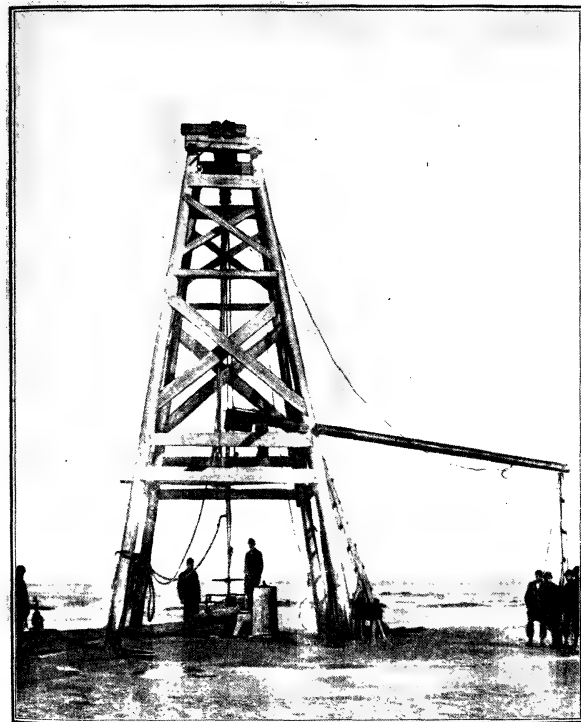
С изобретением двигателей внутреннего сгорания нефть приобрела важнейшее значение в мировой промышленности и на транспорте. На смену производству керосина пришло производство бензина. Постепенно химики открывали все новые свойства нефти и ее продуктов.

Для первых двигателей внутреннего сгорания, например двигателя Э. Ленуара (1860 г.), использовали в качестве горючей смеси светильный газ и воздух. Это были, в сущности, газовые двигатели. Позднее с освоением нефти как жидкого топлива появились керосиновые и бензиновые двигатели. Один из первых бензиновых двигателей изобретен Г. Даймлером в 1883 г. и запатентован им в Германии в 1885 г. Двигатель Даймлера был предназначен для автомобиля, и в 1889 г. был сконструирован первый автомобиль с подобным двигателем.

В 1892 г. Р. Дизель запатентовал двигатель внутреннего сгорания с высокой степенью сжатия, который должен был работать на керосине. В России создались особенно благоприятные условия для внедрения двигателей Дизеля [68]. Здесь в 1899 г. была предпринята удачная попытка перевода дизельного двигателя с керосина на сырую нефть. Первым в мире дизельным судном стал построенный в 1903 г. в России и курсировавший по Неке нефтевоз «Ванда».

Изобретение легкого бензинового двигателя оказало огромное влияние на развитие нового вида транспорта — авиации.

Таким образом, двигатели внутреннего сгорания способствовали появлению автомобильного транспорта, усилению судового транспорта и возникновению авиации. В этих двигателях применяли продукты нефти. Нефть становилась источником богатства и силы страны, приобретала политическое значение. Не случайно нефтяная промышленность мира уже в начале XX в. была включена в сферу борьбы крупнейших капиталистических промышленных монополий за передел мира. «Почувствительный пример попытки такого передела, борьбы за передел, — указывал В. И. Ленин, — представляет керосиновая промышленность»<sup>4</sup>. В. И. Ленин отметил, что



Деревянный сток для ударного бурения (70-е годы XIX в.)

<sup>4</sup> Ленин В. И. Полн. собр. соч., т. 27, с. 367.

именно в керосиновой промышленности «Началась борьба, которую в экономической литературе так и называют борьбой за «дежек мира»<sup>4</sup>. В первую мировую войну 1914—1918 гг. нефть была главной заботой каждого из воюющих лагерей. В Великобритании накануне войны, в 1914 г., 30% военного флота работало на нефтяном топливе. После войны буржуазный политик Керзон метко сказал: «Союзники приплыли к победе на волне нефти» [1, с. 14].

Нефть и раньше имела разнообразное применение. Ее употребляли в медицинских целях, в военном деле как горючий материал, в кораблестроении, в строительном деле, для покрытия дорог, но в начале XX в. не оставалось ни одного вида промышленного предприятия и средства транспорта, где бы не использовалась нефть в сыром или переработанном виде. Практическое применение нашли газойль, бензин, керосин, солировые, парафиновые, смазочные масла, вазелин, парафин, масла, применяемые в парфюмерной промышленности, и т. п. Нефть приобрела прочное положение как топливо и сырье для развивающейся химической промышленности.

### 3. ТЕХНИКА БУРЕНИЯ И ДОБЫЧИ НЕФТИ

Спрос на нефть как на топливо и промышленное сырье резко возрос. Если раньше он с избытком удовлетворялся тем количеством нефти, которое добывалось из естественных ключей и неглубоких рытых колодезев, то теперь возникла необходимость значительно увеличить добычу. Эта цель могла быть достигнута бурением нефтяных скважин.

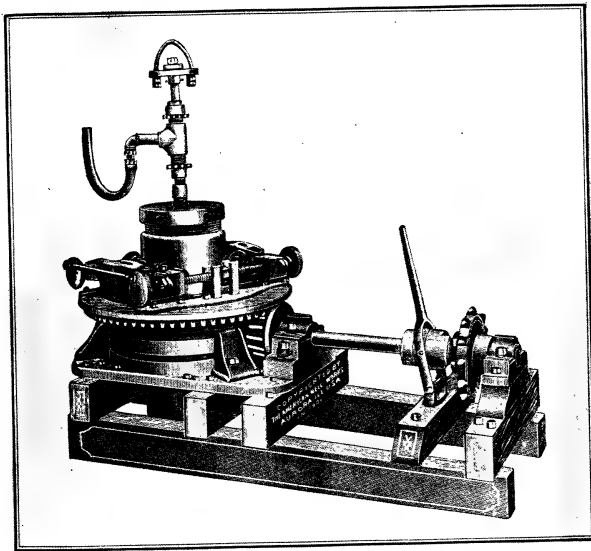
Бурение уже широко применялось для добычи богатых солями водных растворов (рассолов), в геологоразведочных и горных работах, и к концу XIX в. в основном конструкция бурового оборудования и инструмента, технологические приемы проводки скважин были определены. Высокого уровня мастерства достигло ударное штанговое бурение. Совершенствовалось ударное канатное бурение. С увеличением глубины скважины понадобилось разобщить ударный инструмент и основную массу штанг. В результате стали появляться свободно падающие механизмы: бойницы Эйентаузена, самопады Кинда, Фабiana и др. [34]. В разведочном бурении Г. Д. Романовский для проводки скважины применил установку ударного бурения с паровым приводом.

В первые десятилетия существования мировой нефтяной промышленности в числе нефтедобывающих стран значились США, Россия, Канада, Перу, Румыния, Германия, Австро-Венгрия, Индия и Япония [66, с. 16]. Добыча нефти из скважин начала развиваться бурными темпами, и постепенно нефтяное бурение стало широко использоваться во всех странах, где находили нефть.

Сначала для бурения нефтяных скважин служил балансир, приводимый в действие вручную. Позже технические средства бурения усложнились. Для привода ударных буровых станков начали применять паровые двигатели.

Ударное бурение продолжало совершенствоваться. Но с увеличением глубины скважины резко проявлялись его недостатки. Затруднялась

<sup>4</sup> Там же, с. 368.



Ротор для вращательного бурения (начало XX в.)

промывка скважины, так как возникала необходимость герметизировать самопады — задача практически невыполнимая. Кроме того, жидкость создавала дополнительное сопротивление падающему долоту. При бурении без промывки много времени уходило на очистку скважины и ее крепление. Этих недостатков было лишено вращательное бурение. Сначала его довольно успешно использовали в разведочных целях, что подготовило почву для его применения на нефтяных промыслах.

Тяжелые условия проводки нефтяных скважин исключали возможность простого переноса существовавшего оборудования для бурения разведочных скважин на промыслы. Легкие станки для вращательного бурения со стальной коронкой или с алмазным инструментом приводили в движение вручную, угловая зубчатая передача была довольно миниатюрная. Появилась необходимость увеличить мощность привода и усилить вращательный механизм. Эта задача была решена в 1889 г. в США Чепменом,

создавшим первую роторную установку, пригодную для нефтяного бурения [69, с. 88]. Сначала бурение ротором применяли для добычи серы и проводки скважины на воду. Когда технология этого способа была в основном разработана, приступили к бурению на нефть. В 1901 г. в Америке ротором пробурили нефтяную скважину.

Ротор в принципе представлял собой угловой редуктор. Действие и конструкция его благодаря простоте оставались в основном неизменными и в течение последующих лет. Например, конструкция ротора, изготовленного в США в 1910 г., полностью соответствовала запатентованной в 1889 г. Подобные же роторы применяли американцы и в 20-х годах XX в. Вносились лишь изменения с целью предотвратить забучную передачу и подлинники от воздействия промысловой жидкости. Совершенствовалась система зажима бурильных труб в роторе.

Роторное бурение распространилось и в другие страны. Например, в России его применение отмечено с 1907 г. [70, с. 11]. В 1914 г. в Румынии за 16 дней была пробурена скважина глубиной 700 м, что положило начало широкому использованию в этой стране роторного способа проводки скважин [1, с. 95].

Развитию роторного бурения способствовало совершенствование инструмента. Основным инструментом служило долото в форме рыбьего хвоста (РХ). Лезвие его было раздвоено и отогнуто в сторону вращения. С целью очистки скважины долото приспособили для работы с промысловой, продавав отверстие для прохода промысловой жидкости. Этим долотом работали в мягких породах.

В породах средней твердости использовали дисковые долота с ровной, волнистой или зубчатой рабочей поверхностью. Долота этого типа оказались бесперспективными, но, видимо, они натолкнули изобретателей на конструирование шарошечных долот, в которых рабочим элементом был зубчатый цилиндр или зубчатый конус. Впервые цилиндрические шарошечные долота были запатентованы в 1860 г. Однако успешное развитие шарошечных долот началось с применением роторного бурения. В 1909 г. Говард Юз сконструировал долото с коническими шарошками [69, с. 151]. Шарошечные долота позволили совместить действие резания и удара при вращательном бурении. Применяемые ранее зубчатые, лопастные, дисковые и армированные алмазами долота разрушали породу только резанием. Шарошечные долота дали возможность использовать преимущества вращательного и ударного бурения одновременно.

Вместе с совершенствованием бурения скважин развивались и способы извлечения из них нефти. Проследить историю развития техники добычи нефти — задача очень сложная. В 1913 г. И. Н. Глушков — русский ученый, специалист по технике бурения и эксплуатации нефтяных скважин — писал: «...разработке твердого ископаемого — каменного угля — посвящена обширная литература на всех языках, и в горных школах читаются курсы по этому предмету, разработка жидкого ископаемого — нефти — не имеет даже сводного описания, из которого можно было бы ознакомиться с различным рода современными приемами ведения по добыче жидких ископаемых работ» [71, с. XI]. И это сказано в то время, когда основные принципы добычи нефти из скважин были уже заложены. Сущность этих принципов сводилась к следующему.

Из колодезев нефть поднимали бурдюками (сшитыми из шкур животных) и бадьями (металлическими или деревянными цилиндрами с откидывающимся на шарнире дном). Скважины, пробуренные на нефтяных промыслах, в большинстве случаев фонтанировали. Если фонтан истощался или скважина вообще не давала фонтана, то нефть вычерпывали желонкой, представляющей собой ту же бадью, но приспособленную к узким поперечным размерам скважины. Такой способ подъема нефти — тартание, доставшийся в наследство от ее кустарной колодезной добычи, тяжелый, дорогой, малоэффективный, не использовал преимущества, обеспечиваемые применением бурения. Необходимо было совершенствовать способы извлечения нефти из скважин.

В 1865 г. бакинский инженер Иванецкий создал глубинный насос для выкачивания нефти [72, с. 156]. Принцип его действия был известен на Кавказе. Но только в 1874 г. насосы применяли на нефтепромысле в Грузии, а в 1876 г. — на промысле Вермисева в Баку. Однако и после этого он не получил широкого распространения в России. До установления Советской власти на нефтяных промыслах страны скважины за редким исключением тартались желонками. Владельцы промыслов, не желая тратить средства, время и силы на техническое оснащение работ, получали прибыли, жестоко эксплуатируя рабочих. Выступая против насосов в Баку, они ссылались на то, что насосы «стоят очень дорого, а починка их затруднительна вследствие отсутствия механических приспособлений» [73, с. 105]. Совершенствование добычи нефти в дореволюционной России шло по пути замены ручного или конного привода желонки паровым, а затем и от двигателя внутреннего сгорания. Иногда применяли электромотор, получавший энергию с центральной электростанции, расположенной обычно вне промыслового участка.

В Америке нефонтанирующие скважины с 1865 г. эксплуатировались глубинными насосами [74, с. 573]. Подобные насосы были распространены, например, в Германии. Поршень насоса приводился в движение штангой, соединенной с тем же балансиром, который использовался для проводки скважины ударным бурением. Интересно то, что современные станки-качалки конструктивно произошли от ранних буровых станков ударного действия. На некоторых скважинах ставили железный балансир, предназначенный специально для насоса. Приводом в большинстве случаев служил двигатель внутреннего сгорания, работавший на газе, выходящем из скважины попутно с нефтью.

В России инженер В. Г. Шухов предложил использовать сжатый воздух для подъема нефти из скважины — эрлифт. В 1886 г. Д. И. Менделеев настойчиво добивался осуществления предложения Шухова [72, с. 158], но только в 1897 г. компрессорная добыча нефти была испытана в Баку.

Схема подземного устройства очень проста. В скважину опущены две трубы, по одной закачивается при помощи компрессора сжатый воздух, по другой поднимается эмульсия из воздуха и нефти. Трубы могли располагаться рядом или концентрично. Несмотря на огромные преимущества, эрлифт не получил широкого распространения при добыче нефти. Даже наиболее передовая в техническом отношении фирма «Нобель» в 1911 г. насчитывала на промыслах всего 15 малоомощных компрессоров, приводимых в действие паровыми машинами [75, с. 117].

В 1914 г. в России М. М. Тихвинский предложил газлифт — замкнутый цикл эксплуатации скважины со сжатым газом. Газлифт, как и эрлифт, не получил в то время применения ни на отечественных, ни на зарубежных промыслах.

В некоторых странах практиковали так называемое «поршневое тартаие». В основе этого способа добычи лежало явление выброса из скважины нефти при обратном движении поршня, создающего под собой разрежение. Например, на промыслах Румынии до 1909 г. скважины эксплуатировали главным образом желонками, позднее здесь стали использовать поршневание и к 1918 г. 50% нефти в стране добывалось этим способом [4, с. 95].

Таким образом, в начале XX в. в технике бурения и добычи нефти были уже заложены и значительно развиты принципы, применяющиеся и в настоящее время. Высокого уровня развития достигло ударное бурение; вращательное оснастилось роторными установками, универсальными буровым инструментом — шарошечным долотом. В добыче были разработаны и испытаны глубиннонасосная и компрессорная эксплуатация скважин, газлифт и эрлифт. Все это позволило резко увеличить мировую добычу нефти. Если в 1870 г. она составляла 0,7 млн. т, то к 1913 г. достигла 52,3 млн. т [76, с. 166].

За первое же десятилетие XX в. (1901—1910 гг.) добыча нефти в основных нефтедобывающих странах (США, Австро-Венгрии, Румынии) возросла соответственно, млн. т: с 9,1 до 28,1; с 0,5 до 1,8; с 0,2 до 1,4 [71, с. 6].

Автомобили, самолеты, суда, тракторы, стационарные промышленные двигатели, электростанции, нефтеперерабатывающие заводы и различные химические предприятия требовали топлива и сырья — нефти. Значительное увеличение добычи нефти сыграло важную роль в развитии промышленности, сельского хозяйства и транспорта во всем мире. В свою очередь, прогресс ведущих отраслей материального производства, сельского хозяйства и транспорта стимулировал дальнейшее развитие нефтедобывающей промышленности.

## ПЕРЕХОД НА НОВЫЕ СПОСОБЫ ПОЛУЧЕНИЯ МЕТАЛЛОВ

### 1. УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ В ПРОИЗВОДСТВЕ ЧУГУНА

К 70-м годам XIX в. быстро растущие запросы машиностроения, железнодорожного и морского транспорта потребовали значительного расширения производства черных металлов и повышения их качества. Увеличились размеры доменных печей, совершенствовалась их конструкция, вводились новые вспомогательные устройства. К 1870 г. объемы отдельных доменных печей уже превышали 400 м<sup>3</sup>, а их высота достигала почти 23 м, применялись мощные воздушходувки, использовались разнообразные устройства для удлиннения газа и распределения шихты.

Широко распространилась конструкция кирпичного воздухонагревателя регенеративного типа для доменных печей, предложенная в 1857 г. английским инженером Э. Каупером и поныне носящая его имя.

К концу XIX в. каменноугольный кокс почти повсеместно вытеснил другие виды топлива, используемые для выплавки чугуна. В 1900 г. доменные печи Англии, Германии и Франции работали только на коксе. В США во второй половине прошлого столетия для производства чугуна наряду с древесным углем широко применяли антрацит. Так, в 1860 г. 48,5% чугуна выплавливали на антраците, 43,2% — на древесном угле и лишь около 8% — на коксе. Однако к концу века доля коксового чугуна в США увеличилась до 87%. В России в это время на коксе выплавливали около 70% чугуна. Металлургия Урала работала в основном на древесном угле. Почти все доменные печи Швеции производили древесноугольный чугун.

В описываемый период металлургии все большее внимание стали уделять подготовке к плавке основного материала доменного производства — железной руды. Уже издавна использовали такие процессы, как дробление крупнокусковых руд, их обжиг и промывку. Помимо этого, в конце XIX в. начали применять окусковывание мелких и пылеватых руд методом брикетирования, а также сортировку железной руды по крупности кусков и химическому составу. В начале XX в. в производстве внедряется процесс агломерации, заключающийся в окусковывании мелких руд и коллиниковой пыли, которые спекали в специальных агломерационных устройствах.

Предварительная подготовка железных руд, использование высококачественного топлива — кокса, применение более совершенных воздушходувных машин и горячего дутья позволили сооружать доменные печи значительно большего объема и более высокой производительности. Это, в свою очередь, вызвало необходимость разработки более рациональной конструкции самой печи, а также вспомогательных устройств и механизмов доменного цеха.

Особое внимание металлургии XIX в. уделили разработке профиля доменной печи, т. е. внутреннего очертания ее рабочих пространств. Шахта старинных доменных печей имела четырехгранное сечение. Однако уже в XVIII в. повсеместно перешли на круглое сечение всех зон печи. В то время горн печи, в котором сгорало топливо и накапливались расплавленные чугуны и шлак, имел относительно небольшой диаметр по сравнению с другими зонами печи, особенно распаром. Английский металлург первой половины XIX в. Д. Гиббонс исследовал рабочее пространство доменной печи после ее многодневной эксплуатации. Он убедился, что уже после шести месяцев работы теряется половина толщины огнеупорных стенок горна и заплечиков. В дальнейшем процесс разгорания кладки шел значительно медленнее. В брошюре «Практические заметки о конструкции доменных печей Страффордшира», изданной в 1839 г., Гиббонс пишет: «Мне казалось, что если я построю печь таким образом, что внутренние очертания рабочего пространства ее заранее уже будут иметь ту форму, которая получается вследствие разгара, то я ограничу разрушительное действие огня и предохраню значительную часть стен горна и заплечиков от разгара». Печь, построенная Гиббонсом на основании результатов его опытов, отличалась более широким горном и показала хорошую производительность. Однако еще долгое время продолжали строить невысокие печи с узким горном и широким распаром.

В 1872 г. была опубликована работа известного французского металлурга Л. Грюнера «О доменных печах», в которой были изложены прогрессивные взгляды на соотношение отдельных элементов доменной печи. Грюнер предложил вытянутый профиль печи, при котором отношение ее высоты к диаметру распара не должно быть меньше 4. Ученый доказывал необходимость увеличения поперечника горна и уменьшения диаметра распара. Выводы Грюнера использовались при строительстве доменных печей и привели к изменению их профиля [2, с. 265—272].

Во второй половине XIX в. непрерывно возрастают высота и полезные объемы доменных печей. В Англии их оптимальные объемы достигают 500—600 м<sup>3</sup>. В США в конце века полная высота доменных печей доходила до 30—32 м, а диаметр горна в наиболее крупных печах составлял 3,5—4,5 м. В это время американцы достигли более значительных успехов в разработке рационального профиля доменных печей, опередив европейских конструкторов [1, с. 29].

К концу минувшего столетия была создана конструкция доменной печи, принципиально не отличающаяся от современной. Вновь сооружаемые печи имели облегченную шахту, опирающуюся на металлические колонны. Для подвода воздуха к фурмам устанавливали кольцевой воздухопровод. На многих американских печах применяли охлаждение заплечиков и верхней части горна. Четко определились два типа конструкции доменных печей — американский и немецкий. Особенностью первого был металлический кожух, на который опираются все колошниковые устройства. Вес кладки шахты, кожуха и колошника передается на колонны, окружающие горн. Немецкая конструкция не имела сплошного железного кожуха. Кирпичная кладка стягивалась железными баяндажами. Колошниковые устройства держались на колоннах, которые служили продолжением колон шахтной части печи.

В последние десятилетия прошлого века коренной реконструкции под-

верглись отдельные элементы доменной печи. В 1867 г. немецкий инженер Ф. Люрман впервые соорудил печь с закрытым горном. Для выпуска шлака в горн была сделана специальная фурма, охлаждаемая проточной водой. Она располагалась значительно ниже воздушных фурм, по которым в печь подается горячее дутье. Фурма Люрмана облегчила операции по выпуску шлака из печи и быстро получила широкое распространение.

Переход к сооружению горнов закрытого типа облегчил конструктивное решение устройств для их охлаждения. Специальные холодильники были предложены и для охлаждения заплечиков. Таким образом, интенсивное охлаждение горна и заплечиков наряду с использованием более высококачественных огнеупоров способствовало повышению долговечности службы этих важнейших элементов доменной печи.

Применение горячего дутья все более высокой температуры потребовало существенного изменения конструкции фурм. Когда температура вдвухаемого в печь воздуха превысила 200° С, появились литые чугунные фурмы, внутри которых находились змеевик с проточной водой. В 1865 г. их начали заменять более совершенными бронзовыми фурмами с водяным охлаждением. Фурменный прибор доменных печей представлял собой довольно громоздкую конструкцию. Несмотря на охлаждение, фурмы часто горели и требовали замены. В дальнейшем стали использовать составные фурмы. Наружная часть фурмы, охлаждаемая водой, прочно вдевалась в кладку печи, не достигая зоны горения топлива. В нее вставляли тонкую и длинную дутьевую фурму, соединенную патрубком с кольцевым воздухопроводом, окружающим печь и объединяющим все фурмы.

Отходящий газ доменных печей использовали в качестве топлива. В состав колошникового газа входят окис углерода и водород. Его теплотворная способность достигает 900 ккал/м<sup>3</sup> и более.

В 1850 г. английский инженер Парри впервые сконструировал газовый затвор на колошнике печи, объединив его в один агрегат с прибором для засыпки шихты. Аппарат Парри состоял из засыпной воронки и конуса, заправляющего ее снизу. Благодаря простоте и надежности это устройство с небольшими конструктивными изменениями используют и до нашего времени. Оно обеспечивает наиболее рациональное распределение шихты в доменной печи при ее загрузке. Колошниковый газ удаляется из печи по специальным газопроводам. Усовершенствование засыпного и газозаправляющего аппарата Парри заключалось в применении двойного конуса, что обеспечило полную сохранность колошникового газа при засылке шихты. Американский инженер Мак-Ки предложил вращать воронку засыпного аппарата с помощью специального электромотора. Это обеспечивало равномерное распределение шихты в доменной печи.

Значительный рост высоты и производительности доменных печей в XIX в. потребовал серьезной реконструкции устройств для подачи сырых материалов и уборки продуктов плавки. Старые подъемники вертикального типа требовали присутствия рабочих на колошниковых площадках, которые вручную подавали вагонетки с шихтой от подъемника к загрузочному аппарату. Уже в середине прошлого столетия вертикальные подъемники стали заменять наклонными. Это позволило механизировать, а потом и автоматизировать процесс загрузки печей.

На европейских металлургических заводах на рубеже XIX—XX вв. наиболее широко использовали наклонный бадьевого подъемник. Цилинд-

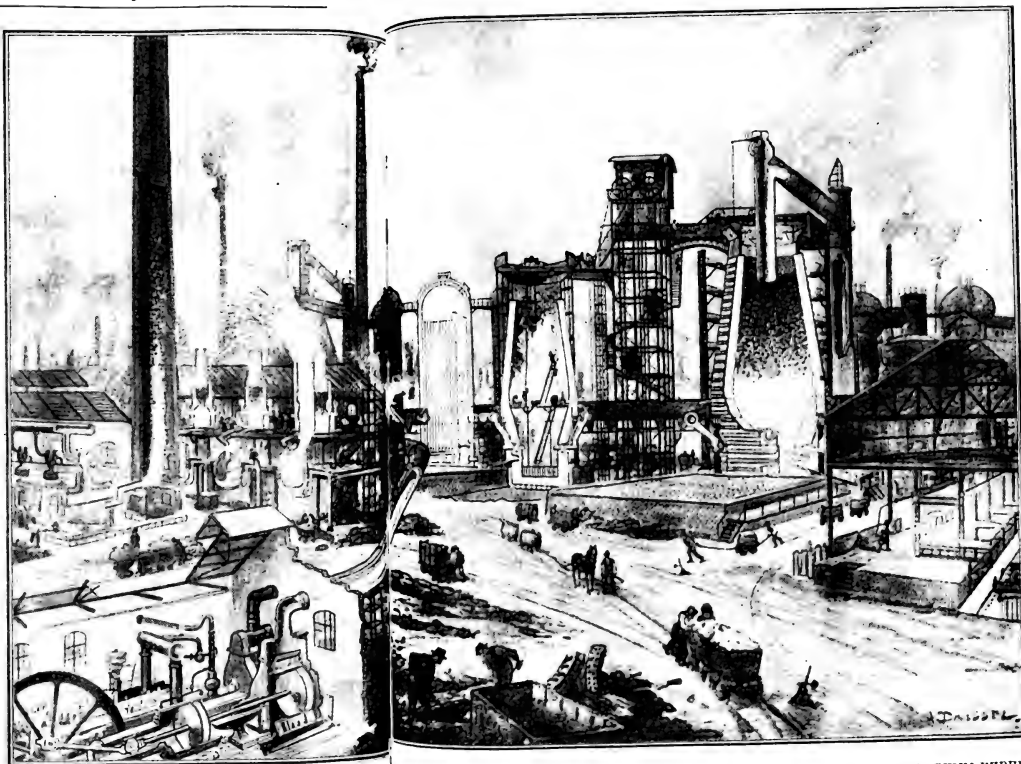


рические бадьи, наполнявшиеся шихтой на складе сырых материалов доменного цеха, электролебедкой подавали по наклонному подъемнику на загрузочную площадку и устанавливали под засыпной воронкой. Затем днище бадьи автоматически открывалось и шихта высыпалась в печь.

В США подъемники вместо бадьи имели открытую с одной стороны вагонетку — скип. По наклонному мосту ходили одновременно два скипа. Пока один из них наполнялся шихтой в так называемой скиповой яме, второй скип автоматически перенорачивался над колошником, шихта поступала в засыпной аппарат. Скиповой подъемник по сравнению с бадьевым отличался простотой устройства, надежностью в работе и более высокой производительностью. Скиповые подъемники стали использовать на металлургических заводах всех стран.

В 60-х годах XIX в. все шире осуществлялся переход к новым способам передела чугуна в сталь. Бессемеровские конвертеры перерабатывали жидкий чугун. В мартеновских печах также более экономичной была выплавка стали из жидкого чугуна; в этом случае не требовалось топлива для расплавления чугуна, который уже поступал в жидком виде, значительно сокращалась и продолжительность процесса плавки.

На металлургических заводах появились специальные сосуды для перевозки жидкого чугуна — ковши. Наружную оболочку ковша делали из



Металлургический завод (конец XIX в.)

толстых железных листов, внутреннюю выкладывали огнеупорным кирпичом. Ковши устанавливали на железнодорожные тележки и перевозили по рельсовым путям, связывающим доменный цех со сталелитейным.

Чтобы облегчить заполнение ковшей продуктами плавки, доменные печи начали строить на возвышенных фундаментах. Емкость первых ковшей не превышала нескольких тонн.

В 1895 г. в США был взят патент на разливочную машину, а годом позже такие машины уже начали появляться в заводских цехах. Разливочная машина представляла собой движущийся ленточный транспортер с установленными на нем продолговатыми чугунными формами. Лента находилась в непрерывном движении. Длина транспортера составляла 15—20 м. К одному ее концу подвозили в ковше жидкий чугун, который выливали в огнеупорный желоб, а отсюда — в формы. Заполненные формы по всему пути своего движения охлаждались водой. Чугунная чашка быстро затвердевала и к концу транспортера, когда форма переворачивалась, вываливалась из нее. На обратном пути пустые формы поливали известковым раствором, чтобы предотвратить прилипание к ним жидкого чугуна.

Для быстрой уборки шлака стали применять шлаковые ковши. Долгое время шлак считался отходом доменного производства и поступал в отвалы. Вблизи старых металлургических заводов накопились целые горы шлака. Однако уже в XVII—XVIII вв. доменный шлак стали использовать для получения строительных материалов, которые отличались не только прочностью, но и высокими теплоизоляционными свойствами. В дальнейшем применение шлака расширилось. Доменный шлак используют в производстве цемента, строительных блоков, отличного теплоизолятора — шлаковой ваты и других материалов.

Рост размеров и производительности доменных печей потребовал увеличения количества вдвухаемого в них воздуха. Во второй половине XIX в. появляются все более мощные паровые воздушные машины. В 1857 г. на одном из металлургических заводов Рура (Германия) была построена поршневая воздуходувка с паровым двигателем в 3500 л.с., засасывающая 1000 м³ воздуха в минуту [2, с. 385]. Диаметр воздушных цилиндров воздуходувок того времени нередко превышал 3,5 м.

Паровые машины большой мощности требовали громоздких парокотельных агрегатов. Уже в последней четверти минувшего века им на смену приходят более компактные и удобные в эксплуатации двигатели внутреннего сгорания, в которых механическая работа образуется в результате химической энергии топлива, сгорающего в цилиндре двигателя. В 1889 г. на бельгийском заводе Серен была пущена воздуходувная машина, приводимая в действие газовым мотором мощностью 600 л.с. [1, с. 35]. В качестве топлива использовали колошниковый газ доменной печи. В последующие годы газовые воздуходувки благодаря их экономичности и удобству эксплуатации получили широкое распространение. Однако в первые десятилетия нашего века их заменили более производительными турбовоздуходувками, приводящимися в действие паровыми турбинами или электродвигателями.

В конце 90-х годов суточная производительность отдельных доменных печей Великобритании достигает 400 т. Хорошо работающие печи Германии дают в это время 200 т и даже более чугуна в сутки. Лучшие доменные печи США выплавляют в сутки до 600 т металла. Более высокие показатели производительности американских печей объясняются прежде всего форсированным ведением доменного процесса — значительным увеличением количества вдвухаемого в печь воздуха при более высокой ее температуре. Этому же во многом способствовала более рациональная конструкция их профиля, в частности увеличение диаметра горна. И конечно, высокая производительность доменных печей США объяснялась также высоким

качеством исходных материалов — прочностью кокса и низким содержанием в нем золы и серы, богатством руды, содержащей 55—60% железа, и т. д. Английские заводы работали, как правило, на более бедных рудах, с 32—34% железа.

Наряду с ростом производительности доменных печей металлургии США постоянно снижались удельный расход топлива. Если в 1876 г. на лучших печах расход кокса составлял 1,25—1,35 т на тонну чугуна, то в 1896 г. доменные печи наиболее передового тогда завода Дюкен сжигали 0,77 т кокса на тонну выплавляемого металла. Мировое производство чугуна, составлявшее в 1870 г. 12 млн. т, возросло к концу века почти в 3,5 раза, достигнув в 1899 г. 41,5 млн. т [1, с. 35—40].

Во второй половине XIX в. быстро развивается металлургическая промышленность южных районов России, использовавшая в качестве источников сырья конюсящиеся угли Донецкого бассейна и богатые железные руды Кривого Рога и других месторождений. Напомним, что первые попытки промышленного освоения Юга России были предприняты еще на рубеже XVIII—XIX вв. Однако потребовались десятилетия, чтобы металлургические заводы Юга России заняли достойное место в металлургической промышленности страны. Доменные печи давали чугун низкого качества, с большим содержанием фосфора, серы (Пуганский, Керченский, Бахмутский заводы) [2, с. 84].

В 70-е годы начался новый этап промышленного освоения южных районов. В 1870 г. русский капиталист Н. П. Пастухов построил металлургический завод в Сунлине. Его доменные печи работали на донецком антраците. В это же время было организовано так называемое «Новороссийское общество», состоявшее в основном из англичан. Возглавил это общество английский предприниматель Джон Юз. Он заключил весьма выгодный договор с царским правительством, по которому «Новороссийское общество» в течение десяти лет получало по 50 коп. премии за каждый пуд изготовленных рельсов.

В центре богатейшего угольного района Донбасса был построен Юзовский металлургический завод. Его оборудование было доставлено из Англии. Оттуда же прибыли опытные рабочие и мастера. Лишь чернорабочие были привезены из северных районов страны и набраны из местного населения. В 1871 г. была пущена первая доменная печь Юзовского завода, давшая за год 540 т чугуна. В конце века на заводе работало уже 6 доменных печей, а их годовая производительность превысила в 1895 г. 170 тыс. т [2, с. 89].

Развитие металлургии на Юге России долгое время задерживалось из-за отсутствия хорошей железной руды. Настоящие геологические поиски, продолжавшиеся в 70-х годах, дали, наконец, великолепные результаты. В бассейне Днепра, всего в 500 км от угольного Донбасса, в районе Кривого Рога было открыто богатейшее месторождение малодофористых железных руд, содержащих до 67% железа. В начале 80-х годов начали промышленную эксплуатацию нового железорудного бассейна. В 1884 г. Кривой Рог был соединен с Донбассом железнодорожной магистралью. Это послужило стимулом для строительства новых металлургических заводов. Западноевропейские капиталисты буквально ринулись на Украину. Сюда потекли капиталы английских, французских, немецких, бельгийских фирм, которые получали фантастические доходы вследствие

хищнической эксплуатации рудных и каменноугольных богатств и крайней дешевизны рабочей силы.

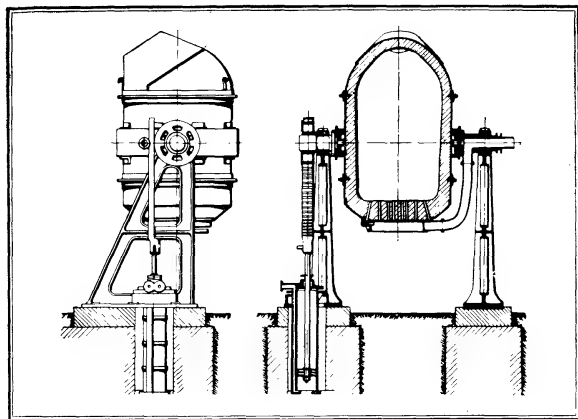
Добычу руды в Криворожье быстро захватили французские капиталисты. Уже к началу нашего века по добыче железной руды Кривой Рог обогнал Урал, а еще через десятилетие Криворожский бассейн давал две трети всей руды, добываемой в России. В конце 80-х — начале 90-х годов на юге страны возникают крупные металлургические заводы в Каменском (ныне г. Днепропетровский), Мариуполе, Енакиеве, Макеевке, Краматорске и других местах. Центр русской металлургии переместился с Урала в южные районы. В подавляющем большинстве металлургические заводы, железные рудники и угольные шахты оказались в руках иностранных капиталистов. В. И. Ленин писал об этом периоде: «В Южную Россию целыми массами переселялись и переселяются иностранные капиталы, инженеры и рабочие, а в современную эпоху горячки (1898) туда перевозятся из Америки целые заводы. Международный капитал не затруднился переселиться внутрь таможенной стены и устроиться на „чужой“ почве: „ubi bene, ibi patria“». (Где хорошо, там и отечество.)

Благодаря интенсивному развитию металлургической промышленности на юге выплавка чугуна в России быстро возрастает. В 1890 г. его было произведено 927 тыс. т., а в 1900 г. — уже 2,9 млн. т. При этом удельный вес южной металлургии по производству чугуна повысился с 24% в 1890 г. до 52% в 1900 г. и почти до 70% в 1913 г.

В первые десятилетия XX в. в технике доменного производства не произошло каких-либо принципиальных изменений. Усилия ученых и инженеров были направлены на улучшение отдельных элементов конструкции печи и технологии выплавки чугуна. Увеличивались объемы доменных печей, продолжалось совершенствование их профиля. В 1914 г. на заводе фирмы «Иллинойс» (США) была пущена в эксплуатацию печь, диаметр горна которой превышал диаметр колошника (5,4 и 5,2 м соответственно). Полезный объем этой печи равнялся 682 м³. В последующие годы строятся доменные печи еще больших размеров.

## 2. РАЗВИТИЕ КОНВЕРТЕРНЫХ СПОСОБОВ ПОЛУЧЕНИЯ СТАЛИ

Крымская война 1853—1856 гг., навязанная России Англией и ее союзниками, потребовала значительного расширения производства добротного металла. Он был нужен для изготовления пушек и снарядов, для строительства военных кораблей. Работая над получением литой стали для артиллерийских стволов, английский инженер Г. Бессемер, пытаясь ускорить процесс плавки в тигле или пудлинговой печи, решил пропускать расплавленный чугун скатым воздухом, который поднимали с помощью огнеупорной глиняной трубы, опущенной в жидкий металл. Уже первые результаты опыта превзошли все ожидания. Расплавленный в тигле металл не только не остывал, но еще больше нагревался даже без подвода тепла извне. Химики быстро объяснили существование нового процесса. Кислород вдуваемого воздуха вступает в активные химические реакции,



Бессемеровский конвертер (начало XX в.)

связанные с окислением кремния, марганца, углерода и самого железа, входящих в состав чугуна. Все эти реакции идут с выделением тепла и поэтому повышают температуру расплавленного металла, одновременно рафинируя его, т. е. очищая от избытка углерода, кремния и марганца. Точные измерения, проведенные уже в наше время, показывают, что в процессе бессемеровского перелода температура жидкого металла возрастает с 1150—1300 до 1580—1620 °C. По приблизительным подсчетам, окисление 1% кремния повышает температуру металла на 150—170°, 1% марганца — на 40—45°, 1% железа — на 20—25° [3, с. 150].

В 1855 г. Г. Бессемер получил свой первый патент на новый способ получения железа и стали из чугуна. С большой настойчивостью он совершенствует свое изобретение. Год спустя Бессемер патентует неподвижный конвертер — вертикальную цилиндрическую печь с закрытым сводом и специальным отверстием для выхода газов. Сбоку существовало второе отверстие для заливки чугуна, а в нижней части печи находилось третье отверстие, обычно забитое глиняной пробкой. Через него выпускали металл в конце процесса. Воздушное дутье под избыточным давлением 0,5—1,6 ат подавалось в конвертер через огнеупорные фурмы. Воздух начинали вдувать раньше, чем заливали жидкий чугун, а заканчивали дутье уже после удаления из конвертера готового продукта [4, с. 132].

<sup>1</sup> Ленин В. И. Полн. собр. соч., т. 3, с. 488—489.

Однако работа с неподвижным конвертером имела большие неудобства. Много трудностей вызвали заливка его чугуном и выпуск готовой стали. Тогда эти процессы вели при включенных насосах для дутья. В 1860 г. изобретатель совершенствует свою конструкцию. Его новый конвертер представляет собой открытую сверху грушеобразную реторту, которая может вращаться вокруг горизонтальной оси. Железные клепаный кожух реторты выложен внутри слоем огнеупорного кирпича. Отверстия для дувания воздуха находятся в днище конвертера. При заливке агрегата чугуном и выпуске готового металла реторта находилась в горизонтальном положении, при продувке — в вертикальном. В принципе устройство бессемеровского конвертера сохранилось до нашего времени.

Бессемеровский процесс отличается высокой производительностью. Уже в самые первые годы своего существования он позволял за считанные минуты превратить 10—15 т чугуна в ковкое железо или сталь. Раньше для этого требовалась работа пудлинговой печи в течение нескольких дней, а кричного горна — в течение нескольких месяцев [5, с. 158]. Но изобретение Бессера имело и существенные недостатки. Новый способ не позволял перерабатывать малокремнистые чугуны. Ведь в основном кремний при сгорании обеспечивал нужную для процесса высокую температуру металла. Кроме того, в бессемеровских конвертерах не удавалось освободить металл от крайне вредных примесей серы и фосфора, целиком переходивших в конечный продукт — литейную сталь. Для совершенствования конвертерного процесса понадобились усилия ученых-металлургов многих стран мира, и прежде всего наших соотечественников.

Русские сорта чугуна, выплавлявшиеся на добротном древесном угле, как правило, содержали небольшое количество кремния и считались непригодными для бессемеровской переработки. В 1872 г. металлург К. П. Чернов, работавший на Обуховском заводе в Петербурге, после большого числа проведенных им опытных плавов предложил предварительно подогреть жидкий чугун в ваннах перед заливкой его в конвертер. Этим расплавленному металлу сообщался дополнительный запас тепла, который при переработке высококремнистых чугунов образовывался в результате выгорания кремния. Почти одновременно на другом русском заводе в Нижней Салде (Урал) К. П. Поленов перегревал малокремнистый чугун в отражательной печи. Так родился процесс русского бессемерования, получивший широкое распространение на отечественных и зарубежных заводах.

Другой крупный недостаток бессемеровского процесса удалось устранить английскому металлургу С. Томасу. Долгое время для бессемерования использовали только малофосфористые чугуны, получаемые из руд, содержащих не более 0,03% фосфора. Бессемеровский конвертер футеруют (выкладывают внутри) огнеупорным динасовым кирпичом. Шлаки, образующиеся в процессе бессемерования, должны иметь кислый характер, чтобы не разрушать огнеупорную кладку конвертера. Однако для удаления фосфора и серы нужна футеровка из основного материала. В 1878 г. С. Томас предложил использовать в качестве огнеупоров доломитовый кирпич и, кроме того, вводить в конвертер до 10—15% извести, чтобы образовывать основные шлаки, способные удерживать фосфор в прочных химических соединениях  $P_2O_5$  с  $CaO$ . В отличие от бессемеровского процесса томасирование завершается периодом передувки, когда уже закончено

окисление углерода и наступает интенсивное выгорание фосфора и серы. В результате томасовского процесса количество фосфора в металле может быть снижено с 1—2% в чугуне до сотых долей процента в стали.

Наибольшее распространение томасовский процесс получил на заводах Германии и Франции, где широко использовали железные руды Лотарингского бассейна, содержащие высокий процент фосфора. Уже в 1883 г. в Германии работало более 40 томасовских конвертеров. В России томасовское производство было введено в 80-х годах на Таганрогском, Керченском и Мариупольском заводах [6, с. 143].

Производство стали в томасовском конвертере позволяет не только обеспечить дефосфорацию металла, но и в значительных пределах уменьшить содержание в нем серы. Шлаки же, образующиеся при томасовском процессе, содержат большое количество фосфора и являются ценным удобрением для сельскохозяйственных культур.

По сравнению с разработанным несколько позже мартеновским способом производства стали конвертерный процесс отличался значительно более высокой производительностью. Однако он имел и существенные недостатки. При конвертерном процессе нельзя было в значительных количествах перерабатывать твердый скрап, т. е. вторичный металл, — сырье в виде отходов производства и стального лома, которое во все большее количество накапливалось в хозяйстве развитых стран. Кроме того, интенсивная продувка жидкого металла в конвертере сжатым воздухом вызвала повышенную концентрацию азота в металле. К концу процесса бессемерования в стали обычно содержалось 0,012—0,015% азота. Это значительно превышало содержание азота в мартеновской стали. То же самое можно сказать и о концентрации кислорода. Конвертерная сталь содержала его большее количество, чем мартеновская. Увеличенное содержание в металле азота, кислорода, так же как фосфора и серы, ухудшало его пластические свойства, повышало хрупкость металла в процессе его последующей обработки давлением и при эксплуатации изделий из такого металла [3, с. 153, 154]. В результате этого уже в последнее десятилетие XIX в. более интенсивно развивался мартеновский способ производства стали, а в дальнейшем также электрометаллургические процессы. Конвертерный способ выплавки стали надолго уступил им первенство.



Сидни Джаскрист Томас  
(1850—1885 гг.)

Однако еще в XIX в. ученые предвидели потенциальные возможности конвертерных процессов. В 1876 г. русский металлург Д. К. Чернов поддержал идею шведского ученого Р. Оккермана об использовании кислорода в конвертерных процессах производства стали. «Нельзя не признать достойным внимания предложение Оккермана прибегнуть к прибавлению кислорода к вдвухому в реторту воздуху», — писал Д. К. Чернов. — Это должно значительно возвысить температуру металла, а с другой стороны — сократить время процесса и уменьшить расход на движущую силу, так как воздушная машина может быть тогда уменьшена пропорционально количеству примешиваемого кислорода» [7, с. 142].

В те далекие годы еще не существовало высокопроизводительных установок для получения дешевого кислорода в больших количествах, и предложение Оккермана — Чернова долгое время оставалось нереализованным. Лишь в 30-е годы нынешнего столетия, когда были созданы механические установки для получения кислорода из атмосферного воздуха, начались успешные опыты по применению кислорода в конвертерном производстве стали, а также в других процессах черной и цветной металлургии.

### 3. ВЫПЛАВКА СТАЛИ В МАРТЕНОВСКИХ ПЕЧАХ

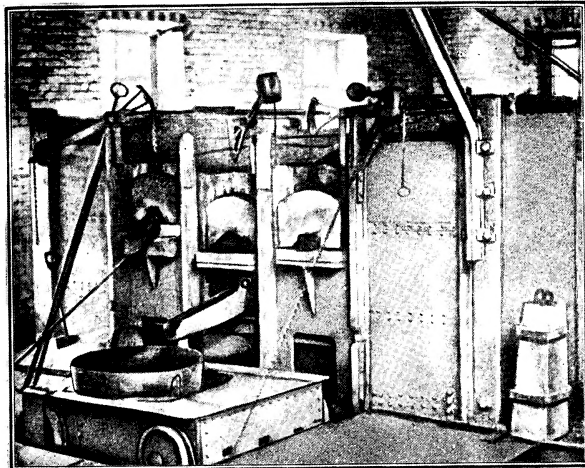
Развитие конвертерных способов получения стали в 60-е годы XIX в. удовлетворяло растущие потребности машиностроения в количестве выплавляемого металла. Однако производство машин и особенно инструментов требовало металла все более высокого качества, а этого конвертерные процессы в то время обеспечить не могли.

И тогда снова вспомнили о пламенных печах. Еще в 1722 г. французский ученый Р. Реомюр получал литую сталь в ванне плавильной печи, используя для этого чугун и стальные отходы. Но этот способ не давал возможности изготовить малуглеродистую сталь: температура в плавильной печи была недостаточно высокой.

В 1864 г. соотечественник Реомюра Пьер Мартен построил первую регенеративную отражательную печь для переработки чугуна и стального лома. Для повышения температуры вдвухемых в печь горючего газа и воздуха Мартен использовал огнеупорные регенераторы, разработанные и запатентованные немецкими инженерами В. и Ф. Сименсами в 1856 г. для стекольного производства. Регенераторы нагревались отходящими газами самой печи и позволяли поднять температуру дутья почти до 1000° С.

Первая сталеплавильная печь, построенная Мартеном, имела небольшие размеры. Она вмещала всего 1,5 т металла, площадь пода составляла около 3 м<sup>2</sup>. Внутренняя часть печи была выложена кислым огнеупорным материалом, а ее под наварен кварцевым песком. В печь загружали 700 кг чугуна, а когда чугун расплавлялся, вводили добавки в виде подогретого стального скрапа или пудлинговых крик. Весь процесс передела совершался в течение 14 ч. Расход угля на 1 т стали составлял около 1,5 т.

Уже первая сталь, полученная в мартеновской печи, отличалась хорошим качеством и была удостоена премии Всемирной парижской выставки 1867 г. В конце 1866 г. сталеплавильная печь нового типа была пущена В. Сименсом в Бирмингеме (Англия), а в 1869 г. — в США. Производи-



Мартеновская печь Сорковского завода (Россия, 1870 г.)

тельность американской печи составляла 5 т. В России опытные плавки стали по способу Мартена начались в конце 60-х годов на Ивано-Сергиевском и Златоустовском заводах. В 1870 т. вступила в действие мартеновская печь Сорковского завода емкостью в 2,5 т. Она была построена инженерами А. А. Износковским и Н. Н. Кузнецовым. Вслед за этим производство мартеновской стали было организовано на Воткинском, Путиловском, Обуховском, Пермском и других заводах [8, с. 161, 162].

К концу 70-х годов емкость мартеновских печей доходила до 10—15 т. Плавку вели на кислом поду; шихта состояла из 30% серого чугуна и примерно 70% железного и стального лома. Такой мартеновский процесс получил название скрап-процесса. Главный недостаток мартеновских печей, выложенных кислыми огнеупорными материалами, так же как и бесемеровских конвертеров, состоял в невозможности удалить из выплавляемого металла вредные примеси серы и фосфора. В 1879—1880 гг. на французских заводах Крёзо и Тернуар были пущены мартеновские печи с основным подом. Год спустя такую печь начали эксплуатировать на Александровском заводе в Петербурге.

Расширяющееся производство стали в мартеновских печах скрап-процессом сравнительно быстро истощило запасы стального лома. Ученые

и инженеры конца 70-х годов усиленно работали над повышением количества чугуна в шихте металлургических печей. В 1878 г. на Нижне-Тагильском заводе в сталеплавильной печи впервые был использован жидкий чугун. Однако кислая футеровка пода печи при этом быстро разъедалась, мартеновские печи обычно выдерживали не более 50 плавов.

Использование для футеровки мартеновских печей магнетитовых, хромомagneзитовых и других основных огнеупорных материалов позволило многократно расширить сортамент чугунов, перерабатываемых в сталь, и значительно повысить стоимость пода печей. В основных печах, как и в томасовских конвертерах, стала возможной переработка чугунов, содержащих серу и фосфор. В 1894 г. русские инженеры братья А. и Ю. Горяиновы на металлургическом заводе в Екатеринославе (ныне Днепродзержинск) предложили вести плавку в основной мартеновской печи, используя в качестве шихты жидкий чугун, а также нагретую железную руду, известняк и стальной скрап. Так было положено начало скрап-рудинному процессу, получившему наибольшее распространение в мартеновском производстве. Скрап-рудинный процесс характеризуется высокой долей чугуна — от 45 до 80% массы металлической части шихты. Для окисления примесей чугуна используют богатую железную руду в количестве 12—30% от веса металлической части исходных материалов. Способ Горяиновых широко применяли на русских и зарубежных металлургических заводах [9, с. 102—108]. В конце минувшего века производительность отдельных мартеновских печей достигала уже 70 т. Высокое качество мартеновской стали и возможность получать ее сразу в больших количествах быстро сделали мартеновский процесс основой сталеплавильного производства. В конце XIX в. более 80% всей стали выплавляли в мартеновских печах.

В первые десятилетия XX в. мартеновский процесс оставался важнейшим способом производства стали. Возрастали размеры мартеновских печей, в начале 20-х годов их емкость достигала 200—250 т. В 1905 г. инженер Рижского политехнического института К. К. Дихман осуществил на Донецко-Юрьевском заводе так называемый рудный процесс, при котором основная часть шихты состояла из твердой железной руды, а ее «металлическая» часть — из жидкого чугуна. Однако широкого распространения в сталеплавильном производстве рудный процесс не получил. Почти всю мартеновскую сталь выплавляли основными процессами — скрап-рудинным и скрап-процессом.

Во второй половине прошлого столетия производство литой стали в мартеновских печах и конвертерах обеспечило быстрый прогресс сталелитейной промышленности, мощность которой продолжала непрерывно возрастать и в XX в.

В 1870 г. на металлургических заводах всех стран было выплавлено 7,65 млн. т стали. Спустя двадцать лет эта цифра почти утроилась: в 1890 г. мировое производство стали составило 20,95 млн. т. Еще большим был рост производства стали в XX в.: в 1905 г. было выплавлено 35,05 млн. т, в 1915 г. 80,65 млн. т, в 1929 г. 121,9 млн. т этого металла [10, с. 7].

#### 4. ТЕХНИКА ПРОКАТНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Важным процессом металлургического производства является прокатка металлов, т. е. способ их обработки путем обжатия между вращающимися валками прокатных станов. В процессе прокатки металл подвергается значительной пластической деформации. При этом его первичная литая структура разрушается, вместо нее образуется новая, плотная и мелкозернистая структура, обеспечивающая металлу более высокие механические свойства. Прокатку металлов широко используют для получения так называемого сортового материала разного сечения — балок, рельсов, углового материала, труб, толстых и тонких металлических листов и т. д.

Во второй половине XIX в. произошла дифференциация прокатных станов на обжимные, листовые и сортовые.

Интенсивное строительство железных дорог в крупнейших странах Европы и Америки стимулировало развитие производства продукции железнодорожного транспорта. На металлургических заводах получают широкое распространение специальные прокатные станы для производства рельсов и бандажной полосы, идущей для изготовления вагонных колес. В конце 50-х годов появились станы для прокатки балок крупного сечения. Дальнейшее развитие и специализация прокатных станов этого типа привели к созданию мощных прокатных агрегатов — блюмингов и слэбблотов, которые впервые появились в США в последней четверти XIX в. Первые из них предназначены для обжатия стальных слитков в крупные заготовки квадратного сечения — блюмы, идущие затем для производства рельсов, балок и сортового проката. На слэбблотах слитки обжимают в крупные плоские заготовки, служащие полуфабрикатом для изготовления листового материала.

В 1871 г. А. Холлей (США) использовал для обжатия крупных слитков трехвалковый прокатный станы-трио. В последующие годы Д. Фритц создал трио-блюминг. В 1880 г. английский инженер Д. Рамсбот предложил для прокатки слитков дуо-реверсивный (двухвалковый) стан с переменным направлением вращения валков. Большое распространение такие агрегаты получили на рубеже XIX—XX вв., когда прокатные станы стали приводиться в действие реверсивными электрическими двигателями.

В дальнейшем продолжалась дифференциация и специализация прокатных станов. Расширялась номенклатура изделий из металла. В 1885 г. немецкие инженеры братья М. и Р. Маннесманы изобрели способ вынтовой прокатки бесшовных стальных труб на прокатных станах с косо расположенными валками. Используя свои патенты, Маннесманы организовали в 1890 г. крупнейший трубопрокатный концерн. В 1886 г. В. Эденборн и Ч. Морган (США) впервые применили быстходную проволочную моталку, которую впоследствии широко использовали для свертывания в рулоны и бунты листового и сортового проката, что обеспечивало точность производства и высокую производительность прокатных станов.

Конструкторы всегда уделяли большое внимание прокатке листового материала. В 1892 г. в г. Темплице (ныне ЧССР) был пущен стан полуперерывного проката стальных листов, в значительной степени упростивший это сложное производство. Однако непрерывная прокатка листового материала была впервые освоена лишь в 1923 г. на одном из американских

заводов. В 80-х годах прошлого века были построены первые станы для холодной прокатки листа.

Усиленное строительство в середине XIX в. крупных военных кораблей потребовало производства стальной брони высокого качества. Старый способ изготовления брони прокаткой и сваркой отдельных стальных листов под ударами тяжелого молота был дорогим и малопродуктивным. В 1859 г. русский металлург и конструктор В. С. Пятав, работавший на Холуницком заводе Вятской губернии, построил первый в мире бронепрокатный стан. Нагретые до высокой температуры пакеты стальных листов прокатывали между валками стана, одновременно они сжимались между собою. На прокатном стане Пятава броневой лист изготовлялся значительно быстрее, чем под молотом, стоил он дешевле и отличался более высоким качеством [11, с. 9].

В XIX в. прокатные станы пришли в действие паровыми машинами, гидравлическими колесами и двигателями внутреннего сгорания. В 1897 г. в Германии для прокатного стана был впервые использован электрический мотор, который ввиду своей универсальности быстро вытеснил в прокатном производстве все другие виды двигателей [12, с. 8].

## 5. ТЕХНИКА ВОЛОЧЕНИЯ МЕТАЛЛОВ

По мере развития промышленности возрастал спрос и расширялась потребность на продукцию волочильных заводов.

Прогресс машиностроения, строительной техники, транспорта, угольной и металлургической промышленности поставил перед волочильным производством задачу освоения новой продукции и расширения выпуска традиционных видов изделий. Быстрыми темпами возрастало производство проволоки, тннутых труб, профильного металла.

На прогрессе волочильного производства особое влияние оказало развитие проволочной телеграфной связи. О масштабах и темпах роста производства телеграфной проволоки свидетельствуют следующие данные: в 1866 г. протяженность всех телеграфных линий мира составляла 284 тыс. км, а в конце XIX в. она возросла до 1 млн. 830 тыс. км.

Огромные количества проволоки шли для изготовления различных видов проволочной продукции: арматуры для железобетона, проволочных тросов, пружин, колючей проволоки, электрических проводов и кабелей, ограждающих сеток для птичников, сит для мукомольной промышленности и многого другого.

Прогрессу волочильного производства способствовала электрификация промышленности. В начальный период развития электротехники проволочную проволоку изготовляли главным образом на металлургических заводах и золотоканительных фабриках. Использование проводниковых материалов росло очень быстро: если, например, в 1906 г. американская электропромышленность потребила 49,6% меди (340 тыс. т), то в 1913 г. доля потребления меди возросла до 52,1% от общего ее использования промышленностью этой страны. В 1902 г. в США сеть проводов электрического освещения составляла 200 тыс. км, но уже в 1907 г. она увеличилась до 320 тыс. км. Много меди шло на производство троллейных контактных проводов, изготовление электромоторов. Достаточно напом-

нить, что средний вес одной мили троллейной проволоки составлял около 1500 кг, а каждый трамвайный электромотор требовал для своего изготовления 363 кг меди [13, с. 5].

В рассматриваемый период в металлургических и металлообрабатывающих производствах использовали разнообразные типы волочильного оборудования, которые по назначению можно разделить на две большие группы: машины проволочно-волочильные и машины для производства труб, полос, шин и профильного металла.

Последняя четверть XIX в. и первые два десятилетия текущего столетия характеризовались значительным прогрессом техники и технологии волочильного производства. Особенно крупные успехи были достигнуты в технике проволочного производства. Наряду с использованием ранее известных традиционных типов волочильных машин однократного действия (проволока тянется через одно волочильное очко, наматываясь на приемный барабан), отличавшихся небольшой скоростью и низкой производительностью, были созданы и получили распространение волочильные машины многократного действия с высокими скоростными характеристиками и большой производительностью. Создание машин многократного действия означало крупный скачок в технологии волочения металлов.

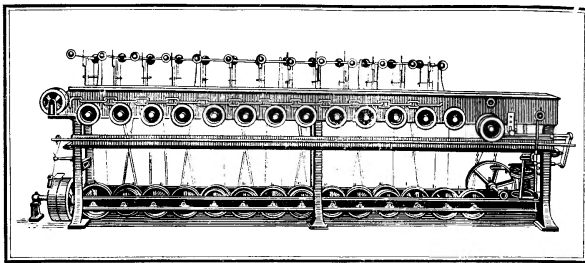
В машинах многократного действия проволока протягивается одновременно через 10—25 волочильных отверстий с помощью такого же числа тяговых роликов (валков), вращение которых увеличивается по определенному закону.

Первым агрегатом многократного действия была машина со скольжением тяговых роликов, созданная в 1871 г. в Англии. Скорость протяжки проволоки такой машины достигала 5 м/с. Дальнейшее совершенствование машин многократного действия со скольжением позволило значительно увеличить их скоростные параметры. В начале XX в. с их помощью увеличили проволоку из меди и ее сплавов со скоростью 10—12 м/с, в то время как скорость применявшихся машин однократного действия не превышала 1,5 м/с. Производительность возросла почти в 10 раз [14, с. 144].

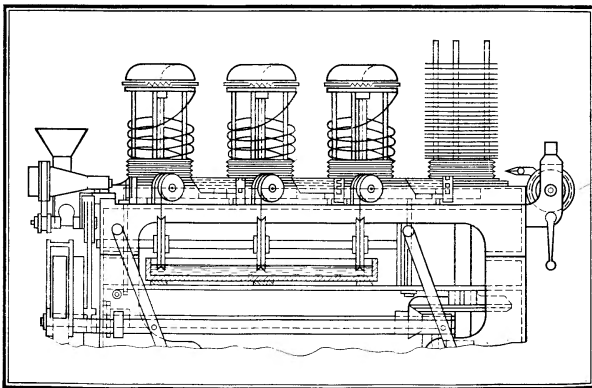
Машины со скольжением хорошо зарекомендовали себя при волочении сравнительно мягких (пластичных) цветных металлов. Но они были мало пригодны для волочения жестких металлов и сплавов (железа и стали) из-за быстрой изнашиваемости тяговых роликов.

Это препятствие было устранено в 1915 г. созданием многократной машины без скольжения с аккумулярованием проволоки на каждом из промежуточных барабанов. Такие машины зарекомендовали себя как перспективное оборудование для волочения углеродистой и высокоуглеродистой стальной проволоки.

В 1924 г. был создан новый тип машины для волочения жестких металлов и сплавов, в основу которых был положен принцип противонапряжения. Используя этот принцип, удалось сконструировать своего рода универсальную многократную машину, в которой отсутствуют недостатки, присущие машинам со скольжением и с противонапряжением проволоки. Здесь скольжение проволоки о тяговые ролики устраняется автоматической регулировкой их скоростей. Проволока в процессе обработки на всех участках находится под постоянным растягивающим напряжением и механически соединена с электрической схемой привода. Отсутствие



Волоочильная машина многократного действия со скольжением проволоки (конец XIX в.)



Устройство волоочильной машины многократного действия без скольжения проволоки конструкции Р. Д. Коннора (Англия, 1915 г.)

скольжения по тяговым роликам и снижение трения в очаге деформации (в цветных) позволили применить эти машины для обработки и цветных, и черных металлов на высоких скоростях (более 20 м/с). Развитие этих машин в промышленных масштабах началось уже в последующие годы, выходящие за рамки рассматриваемого периода.

Роль волоочильных машин для производства труб, полос и прутков, т. е. изделий с прямолинейным движением металла в процессе обработки, на рубеже XIX — начала XX в. непрерывно возрастала. Быстро расширялось применение созданных ранее цехных волоочильных станков и волоочильных гидравлических прессов. В конструктивном отношении эти машины не претерпели принципиальных изменений.

Наиболее существенным нововведением, значительно улучшившим работу цехного стана, было изобретение автоматического возврата тележки для помощи нагруженного каната. Это изобретение, предложенное в 1899 г., легло в основу конструирования станков современного типа.

Гидравлические волоочильные прессы использовали главным образом для производства особо крупных изделий. Насосы высокого давления позволили создать очень мощные волоочильные агрегаты, не потерявшие практического значения до сих пор.

Развитие техники волочения было неразрывно связано с усовершенствованиями волоочильного инструмента. В проволоочном производстве стали широко применять вместо стальных волоочильных досок волоки из алмаза, сапфира и рубина. Их использовали для протяжки проволоки тонких и очень тонких размеров (диаметром до 0,008 мм). Наиболее эффективными были алмазные волоки. Благодаря очень высокой твердости и износостойкости канал алмазной волоки практически не разрабатывается. Получаемая при этом проволока сохраняет на протяжении десятков и даже сотен километров одинаковый диаметр и профиль поперечного сечения. Качество такой проволоки имеет особо важное значение в электротехнике и некоторых других областях. Производство алмазных волок в последней трети XIX в. было монополизировано несколькими западноевропейскими (преимущественно французскими и итальянскими) фирмами, поставившими их во многие страны мира. В 1899 г. производство алмазного волоочильного инструмента с подымным циклом создается в России товариществом Московских соединенных золотоканительных фабрик «Владимир Алексеев» и «П. Вишняков и А. Шамшин». Инициатором и одним из организаторов первого в России цеха алмазных волок был предвидитель правления и один из директоров этой фирмы К. С. Станиславский (Алексеев), обессмертивший свое имя как выдающийся актер и реформатор сценического искусства. Во втором десятилетии XX в. в волочении начали использовать высокоэффективные специальные твердые сплавы. Вначале для этой цели служили стеллиты и литые карбиды. Стеллиты — кобальтохромовольфрамовые сплавы, хорошо сохраняющие прочность при высоких температурах, применяли для изготовления волоочильного инструмента до появления более твердых и стойких в эксплуатации литых карбидов. Литые карбиды были разработаны перед первой мировой войной Ломаном (Германия). Наиболее твердым из них оказался карбид вольфрама, на основе которого позже был получен сплав, названный волюмитом. По стойкости волюмитовые фильеры (волоки) превосходили стальные на 60—70%, но уступали алмазным. Несмотря на ряд положительных